

## **Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Karbon ST42 dengan Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)**

***Khalik Achmad Nasra<sup>a</sup>, Zuldesmi<sup>b</sup>, Jemmy Charles Kewas<sup>c</sup>.***

*<sup>a</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Manado,  
email: [khalikachmadnasra@gmail.com](mailto:khalikachmadnasra@gmail.com)*

---

### **ABSTRAK**

Proses *post weld heat treatment (PWHT)* yang dilakukan pada baja karbon ST42 berguna untuk menghilangkan tegangan sisa yang disebabkan oleh proses pengelasan. 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. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh *PWHT* terhadap peningkatan karakteristik mekanik dan struktur mikro baja karbon hasil pengelasan SMAW. Dari hasil penelitian menunjukkan Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada perlakuan panas tanpa *heat treatment* dengan nilai uji tarik sebesar 479 MPa sedangkan nilai kekuatan tarik pada spesimen dengan *PWHT* sebesar 374 MPa. Selain perbedaan hasil kekuatan tarik yang signifikan terdapat perbedaan titik patahan. Pada spesimen *as weld* mayoritas patahan terjadi pada *weld metal*. Sedangkan pada spesimen yang dilakukan proses *PWHT* mayoritas patahan terjadi pada *base metal*. Nilai kekerasan pada daerah *weld metal* mengalami kenaikan setelah melalui proses *PWHT* tetapi mengalami penurunan kekerasan pada daerah *HAZ* dan *base metal*. Dari hasil analisa pada material dengan jenis yang sama akan mengalami penurunan kekuatan tarik dan kekerasan bila struktur mikronya semakin kasar dan sebaliknya semakin tinggi kekuatan tarik dan kekerasan dari suatu material maka struktur mikronya memiliki butiran yang halus.

***Kata kunci:*** *Baja karbon ST42, Post weld heat treatment, Pengelasan SMAW.*

---

### **I. PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

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 (Wiryo Sumarto, 2004).

Proses pembuatan dan perbaikan konstruksi tersebut biasa dilakukan dengan proses pengelasan. Definisi pengelasan menurut DIN (Deutsche 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 melelehkan benda kerja dan elektroda (bahan pengisi). Energi panas pada proses ini dihasilkan

karena 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 (Wirjosumarto, 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) (Wirjosumarto, 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).

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

### **1.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini akan merumuskan masalah pada pengaruh PWHT dalam meningkatkan karakteristik mekanik dan stuktur mikro baja karbon hasil pengelasan SMAW.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh PWHT terhadap peningkatan karakteristik mekanik dan stuktur mikro baja karbon hasil pengelasan SMAW.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh proses pengelasan terhadap karakteristik mekanik dan struktur mikro pada baja karbon setelah dilakukan pengelasan SMAW.
2. Mengetahui pengaruh PWHT dalam meningkatkan karakteristik mekanik dan stuktur mikro baja karbon hasil pengelasan SMAW.
3. Menambah dan mengembangkan pengetahuan tentang pengelasan SMAW, Post Weld Heat Treatment dan proses pengujian dan kekerasn hasil pengelasan dengan metode metalografi
4. Menjadi rekomendasi kepada perancang konstruksi tentang pengaruh Post Weld Heat Treatment pada material baja karbon terhadap sifat mekanik dan struktur mikro setelah dilakukan pengelasan SMAW.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Definisi dan Klasifikasi Pengelasan**

Definisi pengelasan menurut DIN (Deutse Industrie Normen) dalam Harsono dkk (2000) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Menurut American Welding Society (AWS) mendefinisikan pengelasan sebagai proses penyambungan yang menghasilkan penyatuan bahan dengan cara pemberian tekanan dengan atau tanpa bahan pengisi (filler). Dari pengertian diatas dapat diartikan pengelasan adalah penyambungan dua buah logam atau lebih dengan menggunakan energi panas sampai titik rekristalisasi logam baik menggunakan bahan pengisi (filler) maupun tidak.

Pada saat ini telah dikenal lebih dari 40 metode pengelasan dan digunakan dalam proses penyambungan logam. Dengan banyaknya metode pengelasan maka diadakan pengklasifikasian pengelasan, namun sampai saat ini banyak sekali cara pengklasifikasian pengelasan, ini disebabkan karena belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Secara konvensional pengelasan diklasifikasikan dalam dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan. Klasifikasi berdasarkan cara kerja terbagi seperti las cair, las tekan, las patri. Sedangkan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan dibedakan seperti las listrik, las kimia, las mekanik, dan seterusnya

Berdasarkan klasifikasi diatas, klasifikasi berdasarkan cara kerja bnyak digunakan, klasifikasi tersebut terbagi dalam tiga kelas utama yaitu, pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian.

1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu
3. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan

dengan paduan logam yang memiliki titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak ikut mencair.

## 2.2. Las Busur Listrik

Las busur listrik adalah proses penyambungan logam dengan pemanfaatan tenaga listrik sebagai sumber panasnya. Menurut (Harseno, 2000) las busur listrik merupakan salah satu jenis las listrik dimana sumber pemanasan atau pelumeran bahan yang disambung atau dilas berasal dari busur nyala listrik. Las busur listrik dengan metode elektroda terbungkus adalah salah satu cara yang banyak digunakan pada masa ini, cara ini menggunakan elektroda yang dibungkus dengan fluks. Las busur listrik terbentuk antara logam induk dan ujung elektroda, karena panas dari busur, maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama.

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) merupakan salah satu bentuk pengelasan las busur listrik manual dimana panas pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda terumpan berpelindung flux dengan benda kerja. Busur listrik terbentuk diantara elektroda terlindung dan logam induk. Karena panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama (Wiriyosumarto, 2004). Electric arc adalah arus elektron yang kontinu mengalir melalui media yang pendek antara dua elektrode (+ dan -) yang diketahui dengan terjadinya energi panas dan radiasi udara atau gas antara elektrode akan diionisir oleh elektron yang dipancarkan oleh katoda. Dua faktor yang mempengaruhi pancaran elektron yaitu temperatur dan kekuatan medan listrik. Untuk menimbulkan arc, kedua elektrode dihubungkan singkat dengan cara disentuhkan lebih dahulu (arcstarting) dan pada bagian yang bersentuhan ini akan terjadi pemanasan (temperatur naik), hal ini mendorong terjadinya busur. Beberapa keuntungan dari las SMAW, yaitu:

1. Peralatan yang digunakan tidak rumit, tidak mahal dan mudah dipindahkan.
2. Elektrodanya telah terdapat fluks.

3. Sensitivitasnya terhadap gangguan pengelasan berupa angin cukup baik.
4. Dapat dipakai untuk berbagai posisi pengelasan.

Beberapa kelemahan dari las SMAW, yaitu:

1. Laju pengisiannya lebih rendah dibanding pengelasan GTAW.
2. Panjang elektroda tetap dan pengelasan harus dihentikan setelah sebatang elektroda habis.
3. Puntug elektroda terbuang dan cukup memakan waktu untuk mengganti-ganti dengan elektroda yang baru.
4. Kerak yang terbentuk harus dihilangkan dari lapisan las sebelumnya.

### 2.3. Baja Karbon

Baja karbon terdiri dari besi dan karbon. Karbon merupakan unsur penguat besi yang efektif. Oleh karena itu, pada umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Perbedaan persentase kandungan karbon dalam campuran logam baja menjadi salah satu pengklasifikasian baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi ke dalam tiga jenis, yaitu:

1. **Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel)**  
Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling mudah diproduksi diantara karbon yang lain, mudah di machining dan dilas, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Sehingga pada penggunaannya, baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, pagar, dan lain-lain (Amanto, 1999).
2. **Baja Karbon Menengah (Medium Carbon Steel)**  
Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung karbon 0,3%C-0,6%C. Baja karbon menengah memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi

daripada baja karbon rendah, kekuatan tarik dan batas regang yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit dilakukan untuk pengelasan, dan dapat dikeraskan dengan baik. Baja karbon menengah banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi, dan lainlain (Amanto, 1999).

3. **Baja Karbon Tinggi (High Carbon Steel)**  
Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kandungan karbon 0,6% C-1,7%C dan memiliki tahanan panas yang tinggi, kekerasan tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material perkakas (tools). Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung di dalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji atau pahat potong. Selain itu, baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji, dan sebagainya (Amanto, 1999).

### 2.4. Baja Paduan (Alloy Steel)

Baja paduan adalah baja cor yang ditambah unsur-unsur paduan. Tujuan dari pemberian unsur-unsur paduan seperti mangan, nikel atau molibden, khrom untuk memberikan sifat-sifat ketahanan aus, ketahanan asam dan korosi atau menambah ketangguhan/thoughness (Surdia dan Shinroku, 1999). Baja paduan terdiri dari:

1. **Baja Paduan Rendah ( Low Alloy Steel )**  
Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.
2. **Baja Paduan Menengah (Medium Alloy Steel)**  
Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5%- 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja Paduan Tinggi (High Alloy Steel)  
Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (Amanto, 1999).

### 2.5. Perlakuan panas dan pengaruhnya terhadap sifat mekanik material

Baja karbon diperlakukan dengan tujuan sebagai berikut:

- Untuk mengurangi tegangan sisa yang dihasilkan pada proses fabrikasi (stress relieving)
- Untuk menghilangkan tegangan sisa dan menghasilkan kombinasi optimum antara keuletan, mampu mesin, dimensi dan stabilitas struktur (annealing)
- Untuk meningkatkan kekuatan (solution treating and aging)
- Untuk mengoptimalkan sifat khusus seperti fracture toughness, fatigue strength dan high-temperature creep strength.

## III. METODE PENELITIAN

### 3.1. Bahan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja S45C yang merupakan golongan baja karbon sedang yang memiliki kandungan karbon 0,3 – 0,5% C. Hal ini dibuktikan dengan pengujian komposisi yang dilakukan oleh PT Beyond-Steel Properties yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 3.1** Komposisi Baja S45C

C%	Mn%	Si%	S%	P%
0,42 - 0,48	0,6 – 0,9	0,15 – 0,35	0,035	0,03

(sumber: Hasil Uji di PT Beyond-Steel Properties)

### 3.2. Prosedur Pengelasan

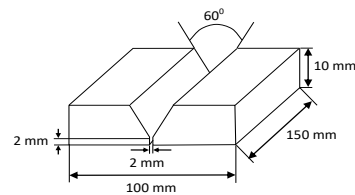
Proses pengelasan SMAW dilakukan dengan menggunakan parameter pengelasan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

**Table 3.2.** Parameter pengelasan SMAW

Voltase	Arus	Kecepatan pengelasan	Energi masukan
---------	------	----------------------	----------------

(V)	(A)	(cm/detik)	panas (kJ/cm)
60-85	110	0,37	13,263

Dalam setiap proses pengelasan dilakukan secara manual menggunakan las listrik SMAW dengan besar arus 110 A, sambungan kampuh V dengan sudut kemiringan 30° (Gambar 3.1), menggunakan elektroda las RB 2,6 (E 6013) dengan diameter 3,2 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 3.1. Dimensi spesimen las dengan kampuh V

### 3.3. Post Weld Heat Treatment

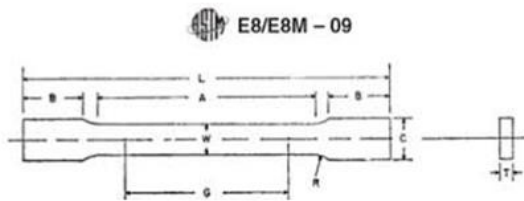
Setelah pengelasan, spesimen dibagi atas dua kelompok. Kelompok pertama adalah spesimen as-welded dan kelompok ke dua adalah spesimen as-PWHT. Spesimen as-PWHT adalah spesimen setelah pengelasan yang dipanaskan ke dalam tungku pemanas pada temperatur 600°C selama 1 jam. Kemudian spesimen didinginkan secara perlahan di dalam tungku pemanas sampai mencapai temperatur kamar.

### 3.4. Teknik Pengumpulan Data

Sesuai dengan metode eksperimen, teknik yang dilakukan untuk mengumpulkan data yaitu melakukan serangkaian pengujian pada objek yang di teliti untuk mendapatkan data yang diperlukan sebagai bahan perhitungan tentang uji Tarik, uji kekerasan dan uji metalografi.

#### 3.4.1. Pengujian Tarik

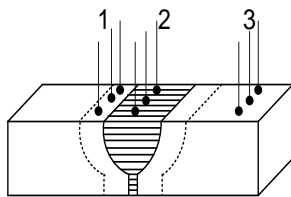
Mesin pengujian tarik yang digunakan Universal Testing Machine Zwick Z100 dengan bentuk spesimen seperti ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Dimensi spesimen uji tarik

### 3.4.2. 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 3.3 dapat dilihat titik-titik pengujian.



Gambar 4.1. 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)

### 3.4.3. 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  $\text{HNO}_3$  selama 10–15 detik pada temperatur kamar. Kemudian daerah pengelasan diinvestigasi secara mikrograf menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 50x.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil pengujian dan pembahasan tentang hasil pengujian tarik dan kekerasan serta pengamatan pada struktur mikro. Pada pengujian ini akan menunjukkan perbandingan nilai kekuatan tarik dan kekerasan serta membandingkan perubahan pada struktur mikro logam.

### 4.1. Data Hasil Pengujian Tarik

Spesimen yang telah dilakukan pengelasan dengan sambungan tipe V dan dibentuk sesuai standart pengujian tarik ASTM E8 yang kemudian dilakukan pengujian tarik dengan alat uji tarik Universal Testing Machine Zwick Z100. Untuk pengujian tarik dibentuk sebanyak 6 spesimen yang terbagi masing-masing perlakuan yaitu 3 spesimen dengan *heattreatment* dan 3 spesimen *postweld*.

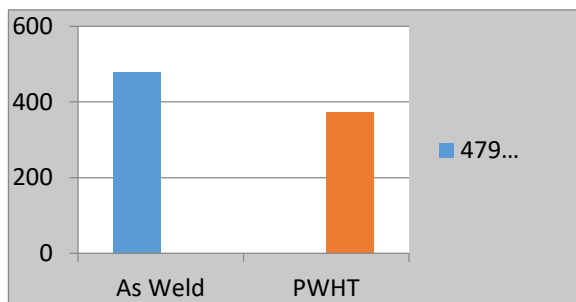
Adapun nilai uji tarik yang diperoleh dari hasil pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 7. Data Hasil Pengujian Tarik

Perlakuan	Spesimen	Nilai Uji Tarik (MPa)	Rata-rata (MPa)
As Weld	X <sub>11</sub>	462	479
	X <sub>12</sub>	460	
	X <sub>13</sub>	517	
Post Weld Heat Treatment	X <sub>21</sub>	362	374
	X <sub>22</sub>	382	
	X <sub>23</sub>	380	

### 4.2. Pembahasan Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik spesimen hasil pengelasan SMAW dengan memvariasikan *heat treatment* menunjukkan bahwa terlihat perbedaan nilai uji tarik yang signifikan pada setiap perlakuan panas. Berdasarkan tabel 7 dapat dibuat grafik perbandingan antara perlakuan panas dengan nilai uji tarik sehingga dapat diamati perbedaan kekuatan tarik setiap spesimen.



**Gambar 12.** Grafik Perbandingan Antara Perlakuan Panas Dengan Nilai Uji

Dari diagram hasil pengujian tarik dapat diketahui terdapat perbedaan rata-rata kekuatan tarik. Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada perlakuan panas tanpa *heat treatment* dengan nilai uji tarik sebesar 479 MPa sedangkan nilai kekuatan tarik pada spesimen dengan *post weld heat treatment* sebesar 374 MPa.

Selain perbedaan hasil kekuatan tarik yang signifikan terdapat perbedaan titik patahan. Pada spesimen *as weld* patahan terjadi pada *weld metal*, dari 3 spesimen *as weld* ketiganya mengalami patahan pada *weld metal*. Sedangkan pada spesimen yang dilakukan proses *post weld heat treatment* patahan terjadi pada *base metal*, dari 3 spesimen *post weld heat treatment* ketiga mengalami patahan pada *base metal*.

#### 4.3. Data Hasil Pengujian Kekerasan

Spesimen uji kekerasan yang telah dilakukan pengelasan dengan sambungan tipe V dan dibentuk sesuai standart pengujian kekerasan vickers ASTM E384 yang kemudian dilakukan pengujian kekerasan dengan alat uji kekerasan Zwick/Roell Indentec. Untuk pengujian kekerasan dibentuk sebanyak 6 spesimen yang terbagi masing-masing perlakuan yaitu 3 spesimen dengan *heattreatment* dan 3 spesimen *postweld*.

Adapun nilai uji kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian adalah sebagai berikut :

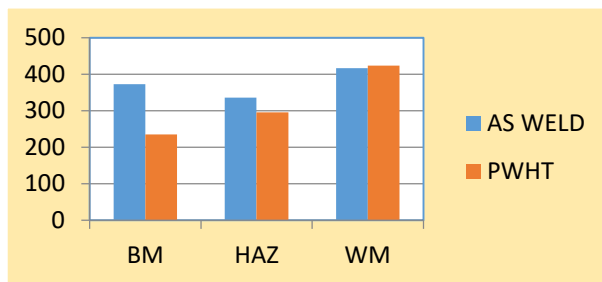
**Tabel 8.** Data Hasil Pengujian Kekerasan

Perlakuan	Posisi Spesimen	Kekerasan (HV)	rata-rata Titik Patahan	rata-rata Posisi Patahan
As Weld	1	330	31	332
	2	388	37	361
	3	424	38	393
PWHT	1	320	34	328
	2	332	32	315
	3	365	34	359

			T1	T2	T3		
As Weld	BM	Y <sub>1</sub> <sub>1</sub>	330	310	332	340,6	372,4
		Y <sub>1</sub> <sub>2</sub>	388	376	361	375	
		Y <sub>1</sub> <sub>3</sub>	424	388	393	401,6	
	HAZ	Y <sub>1</sub> <sub>1</sub>	320	342	328	330	335,6
		Y <sub>1</sub> <sub>2</sub>	332	320	315	322,3	
		Y <sub>1</sub> <sub>3</sub>	365	340	359	354,6	
	WM	Y <sub>1</sub> <sub>1</sub>	415	430	420	421,6	416,6
		Y <sub>1</sub> <sub>2</sub>	410	400	406	405,3	
		Y <sub>1</sub> <sub>3</sub>	409	425	430	421,3	
Post Weld Heat Treatment	BM	Y <sub>2</sub> <sub>1</sub>	218	222	240	226,3	235,2
		Y <sub>2</sub> <sub>2</sub>	252	255	232	246,3	
		Y <sub>2</sub> <sub>3</sub>	231	248	220	233	
	HAZ	Y <sub>2</sub> <sub>1</sub>	292	347	311	253,3	295,5
		Y <sub>2</sub> <sub>2</sub>	320	342	318	326,6	
		Y <sub>2</sub> <sub>3</sub>	290	310	320	306,6	
	WM	Y <sub>2</sub> <sub>1</sub>	406	438	448	430,6	423,5
		Y <sub>2</sub> <sub>2</sub>	390	434	410	411,3	
		Y <sub>2</sub> <sub>3</sub>	438	450	398	428,6	

#### 4.4. Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan Metode Vickers

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan baja karbon ST 42 yang telah melalui proses pengelasan dengan variasi *heattreatment* yaitu *as weld* dan *post weld heat treatment* diperoleh data kekerasan yang dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



**Gambar 13.** Grafik Perbandingan Kekerasan Dengan Daerah Pengelasan

Dari gambar diagram hasil pengujian kekerasan dapat diamati bahwa terdapat perbedaan nilai rata-rata kekerasan di setiap daerah pengelasan pada perlakuan panas yang berbeda. Perbedaan nilai kekerasan terlihat pada tiga daerah pengelasan yaitu logam induk (*Base Metal*), daerah terpengaruh panas (*HAZ*) dan logam lasan (*Weld Metal*).

1. Daerah Logam Induk (*Base Metal*)

Pada daerah *basemetal* spesimen yang tidak melalui proses *heattreatment* diperoleh rata-rata nilai kekerasan 372,4 HV, nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan daerah *base metal* spesimen yang telah melalui proses *post weld heat treatment* dengan rata-rata nilai kekerasan 235,2 HV.

2. Daerah Terpengaruh Panas (*Heat Affected zone/ HAZ*)

Pada daerah *HAZ* spesimen yang tidak melalui proses *heattreatment* diperoleh rata-rata nilai kekerasan 335,6 H, terdapat perbedaan nilai kekerasan yang cukup signifikan dengan sepsimen yang telah melalui proses *post weld heat treatment* yaitu dengan rata-rata nilai kekerasan 295,5 HV.

3. Daerah Logam Lasan (*Weld Metal*)

Pada daerah *weld metal* spesimen yang tidak melalui proses *heattreatment* diperoleh rata-rata nilai kekerasan 416,6 HV, nilai tersebut lebih rendah dari rata-rata nilai kekerasan pada spesimen yang telah melalui proses *post weld heat treatment* yaitu dengan rata-rata nilai kekerasan 423,5 HV.

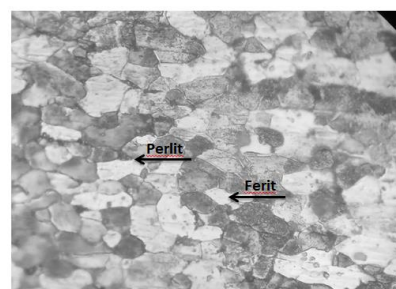
Nilai kekerasan terbaik yaitu pada spesimen yang telah melalui proses

*heattreatment* pada daerah *weld metal*. Kekerasan pada *weld metal* mengalami kenaikan nilai kekerasan dari 416,6 HV sebelum melalui proses *PWHT* menjadi 423,5 HV setelah melewati proses *PWHT*.

Sedangkan pada daerah logam induk terlihat perbedaan yang signifikan, penurunan nilai kekerasan terjadi pada spesimen yang telah melalui proses *heattreatment* yaitu dari 372,4 HV sebelum *PWHT* menjadi 235,2 HV setelah *PWHT*. Hal itu menunjukkan bahwa pada proses rekristalisasi yang diikuti oleh pertumbuhan butir memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap penurunan kekerasan baja. Perlakuan tersebut dinilai berhasil membebaskan tegangan sisa hanya saja menurunkan kekerasan pada daerah *weld metal* dan daerah *HAZ*.

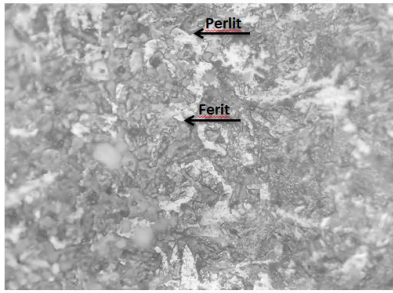
**4.5. Data Hasil Pengujian Metalografi**

Hasil pengujian metalografi yang didapatkan adalah dalam bentuk gambar-gambar struktur mikro yang dicetak dalam bentuk foto. Dalam uji metalografi dapat diamati perubahan struktur mikro pada daerah logam induk (*base metal*), daerah terpengaruh panas (*HAZ*) dan logam lasan (*weld metal*). Berikut ini adalah hasil pemotretan dari struktur mikro baja karbon ST42 pada tiga daerah tersebut :

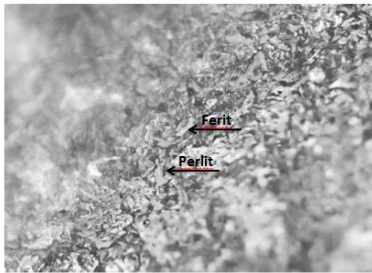


**Gambar 14.** Struktur Mikro Baja Karbon ST42 pada daerah *Base Metal* tanpa *heattreatment* (Pembesaran 50x)

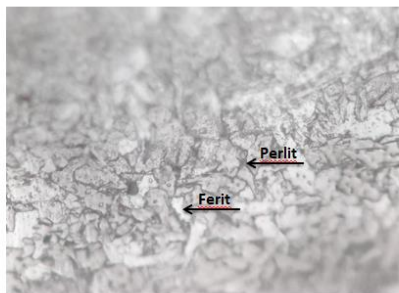




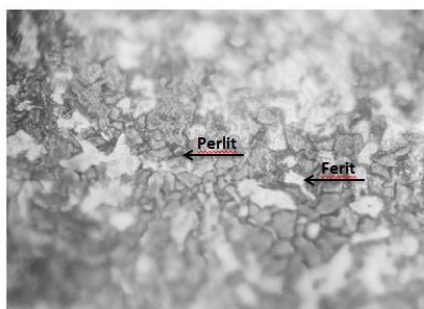
Gambar 15. Struktur Mikro Baja Karbon ST42 pada daerah HAZ tanpa *heattreatment* (Pembesaran 50x)



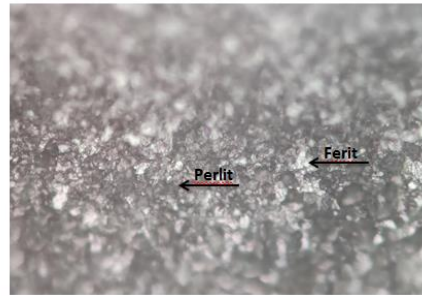
Gambar 16. Struktur Mikro Baja Karbon ST42 pada daerah *Weld Metal* tanpa *heattreatment* (Pembesaran 50x)



Gambar 17. Struktur Mikro Baja Karbon ST42 pada daerah *Base Metal* dengan *Post Weld Heattreatment* (Pembesaran 50x)

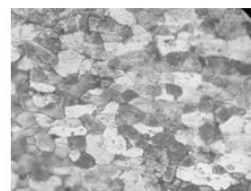


Gambar 18. Struktur Mikro Baja Karbon ST42 pada daerah HAZ dengan *Post Weld Heattreatment* (Pembesaran 50x)



Gambar 19. Struktur Mikro Baja Karbon ST42 pada daerah *Weld Metal* dengan *Post Weld Heattreatment* (Pembesaran 50x)

#### 4.5.1. Perbandingan Struktur Mikro Berdasarkan *Heattreatment*



*As Weld*

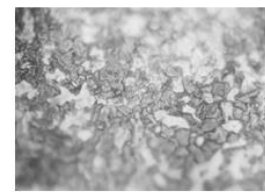


*PWHT*

Gambar 20. Perbandingan Struktur Mikro pada daerah *Base Metal*



*As Weld*



*PWHT*

Gambar 21. Perbandingan Struktur Mikro Pada Daerah HAZ



*As Weld*



*PWHT*

Gambar 22. Perbandingan Struktur Mikro Pada Daerah *Weld Metal*

#### 4.6. Pembahasan Hasil Pengujian Metalografi

Hasil pengujian metalografi seperti gambar-gambar di atas dapat dilakukan setelah melalui proses pengetsaan dengan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) sehingga dapat menampakkan susunan struktur mikro pada baja karbon ST42 yang selanjutnya dapat dilakukan pengamatan tentang perubahan struktur mikronya. Dengan pengamatan yang dilakukan maka didapati bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada tiga daerah

pengelasan yaitu logam induk (*base metal*), daerah terpengaruh panas (*HAZ*) dan daerah logam las (*weld metal*).

#### 1. Struktur Mikro Pada Daerah Logam Induk (*BaseMetal*)

Pada daerah *base metal* ini terdapat struktur fasa yaitu fasa perlit dan ferit. Fasa ferit memiliki warna yang lebih terang dan fasa perlit memiliki warna yang lebih gelap. Struktur mikro fasa perlit pada daerah *base metal* spesimen tanpa *heattreatment* memiliki bentuk butiran yang halus dibandingkan fasa perlit pada daerah *base metal* spesimen dengan *PWHT*. Hal itu menyebabkan nilai kekerasan spesimen tanpa *heattreatment* pada daerah *base metal* lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen yang telah melewati proses *PWHT*.

#### 2. Struktur Mikro Pada Daerah Terpengaruh Panas (*HAZ*)

Saat laju pendinginan berakhir, fasa yang terbentuk pada daerah *HAZ* adalah fasa ferit yang berwarna lebih terang dan fasa perlit yang berwarna lebih gelap. Pada daerah *HAZ* dapat diamati struktur mikronya didominasi oleh fasa ferit. Proses *PWHT* yang dilakukan menyebabkan pembesaran struktur mikro pada daerah *HAZ* serta fasa perlit yang lebih kasar dibandingkan dengan spesimen tanpa *heattreatment*. Sehingga setelah proses *PWHT* nilai kekerasan pada daerah *HAZ* mengalami penurunan kekerasan hanya saja tidak signifikan pada daerah *base metal*.

#### 3. Struktur Mikro Pada Daerah Logam Las (*Weld Metal*)

Proses pendinginan baik pada spesimen tanpa *heattreatment* maupun dengan perlakuan *PWHT* dilakukan dengan media pendinginan udara. Struktur mikro pada daerah *weld metal* yang terbentuk setelah proses pendinginan selesai yaitu fasa ferit dengan warna yang lebih terang dan fasa perlit dengan warna lebih gelap. Butiran struktur mikro pada spesimen dengan perlakuan *PWHT* memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan spesimen tanpa

*heattreatment* dan memiliki ukuran fasa perlit yang lebih halus. Sehingga spesimen setelah proses *PWHT* mengalami kenaikan nilai kekerasan hanya saja tidak signifikan.

Dari hasil analisa pengujian tarik, kekerasan dan pengamatan struktur mikro pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan hubungan antaran kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro. Pada material dengan jenis yang sama akan mengalami penurunan kekuatan tarik dan kekerasan bila struktur mikronya semakin kasar dan sebaliknya semakin tinggi kekuatan tarik dan kekerasan dari suatu material maka struktur mikronya memiliki butiran yang halus.

## V. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya tentang “Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon ST42 Dengan Pengelasan SMAW” maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan proses *Post Weld Heat Treatment* pada baja karbon ST42 dapat dilihat terdapat perbedaan yang signifikan pada pengujian sifat mekanik dan struktur mikro. Perbedaan sifat mekanik dan struktur mikro terjadi pada tiga daerah pengelasan yaitu logam induk (*base metal*), daerah terpengaruh panas (*HAZ*) dan logam las (*weld metal*).
2. Nilai uji tarik tertinggi pada spesimen tanpa *heattreatment* (479 MPa) dengan patahan getas. Pada spesimen dengan proses *PWHT* terjadi penurunan nilai uji tarik (374 MPa) tetapi mengalami kenaikan keuletan ditunjukkan dengan nilai regangan yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen tanpa *heattreatment*.
3. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen dengan proses *PWHT* di daerah *weld metal* (423,5 HV) dan nilai kekerasan terendah terjadi di daerah *base metal* pada spesimen dengan proses *PWHT* (235,2 HV). Hal ini terjadi karna adanya perubahan

struktur mikro yang signifikan pada daerah *base metal* setelah melalui proses *PWHT*.

4. Pada pengamatan struktur mikro didapati perubahan bentuk butir dan fasa pada tiga daerah pengelasan. Pada daerah *base metal* dan *HAZ* bentuk butir cenderung menjadi kasar setelah melalui proses *PWHT*, pada daerah dan pada daerah *weld metal* bentuk butir menjadi lebih halus setelah proses *PWHT* walaupun perubahannya tidak signifikan
5. Dari hasil uji tarik, uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro, pada jenis material yang sama makin turun kekuatan tarik dan kekerasan suatu material maka butiran struktur mikronya semakin kasar dan sebaliknya makin tinggi kekuatan tarik dan kekerasan suatu material maka butiran struktur mikronya makin halus.

## 5.2 Saran

Setelah dilakukan langkah pengujian kekuatan tarik dan kekerasan serta pengamatan struktur mikro pada baja karbon ST42 yang didukung dengan hasil pembahasannya maka penulis dalam hal ini menyarankan:

1. Pada baja karbon ST42 dengan proses *PWHT* kurang baik apabila dilakukan pada keseluruhan logam. Karena hal tersebut akan menyebabkan penurunan nilai kekerasan pada daerah *base metal* dan *HAZ* yang cukup signifikan. Sebaiknya proses *PWHT* dilakukan terfokus pada daerah *weld metal* karena dapat meningkatkan nilai kekerasannya.
2. Pengujian kekuatan tarik dan kekerasan serta pengamatan struktur mikro pada baja karbon ST42 dapat dilanjutkan dengan

memvariasikan suhu pemanasan maupun waktu *holding time*.

## REFERENSI

- Amanto, H. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara, Jakarta. Hal 83-87
- F. Liu, Y.H. Hwang, S.W. Nam. 2006. *The effect of post weld heat treatment on the creepfatigue behavior of gas tungsten arc welded 308L stainless steel*. *Mater. Sci. Eng. A* 427 (1). Page 35–41.
- Harseno Wiryosunarto dan Toshie Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Penerbit pradnya Paramita.
- 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.
- Surdia, T dan Shinroku, S. 1999. *Pengetahuan Logam*, Cetakan ke-6. Penerbit PT. Pradnya Paramita
- Wiryosunarto. 2004. *Teknologi Pengelasan*. Penerbit PT. Pradnya Paramita
- 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.
- Yassyr Maulana. 2016. "Analisis Kekuatan Tarik Baja St37 Pasca Pengelasan Dengan Variasi Media Pendingin Menggunakan Smaw". *Jurnal Teknik Mesin Uniska*, Vol. 02, No. 01. Banjarmasin