



Analisis Pengaruh PWHT Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan SMAW Pada Baja ST41 Dengan Variasi Temperature dan Waktu Tahan Melalui Uji Impact dan Metalografi

Nungki Dwi Putra (Mahasiswa), Maula Nafi (Dosen Pembimbing)

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

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

email: nungkiputra52543@gmail.com

ABSTRAK

Proses yang terjadi pada pengelasan dapat memunculkan dampak pemanasan setempat dengan temperatur yang tinggi yang menyebabkan terjadinya ekspansi termal maupun penyusutan pada saat pendinginan pada logam. Kondisi tersebut menyebabkan munculnya tegangan sisa yang dapat memunculkan retak las. Untuk menghilangkan tegangan sisa yaitu dilakukan proses *Post Weld Heat Treatment (PWHT)*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh PWHT terhadap sifat ketangguhan serta struktur mikro pada hasil pengelasan SMAW baja ST.41 dengan menggunakan variasi temperature 700⁰C, 750⁰C, 800⁰C dan waktu tahan 45 menit, 70 menit, 95 menit. Proses PWHT dilakukan dengan metode annealing dimana setelah dipanaskan selanjutnya spesimen ditahan dengan waktu tertentu dan di dinginkan di dalam suhu ruang *furnace*. Hasil dari pengujian impact menunjukkan terjadinya peningkatan harga impact pada hasil proses pengelasan baja ST.41 setelah dilakukan PWHT. Spesimen baja ST 41 tanpa proses PWHT menunjukkan harga impact sebesar 1,316 Joule/mm² sedangkan spesimen baja ST.41 dengan variasi temperature dan waktu tahan menunjukkan harga impact tertinggi di dapat dari temperature 800⁰C dengan holding time 95 menit yaitu dengan harga impact sebesar 2,453 Joule/mm². Hal ini dapat diperoleh kesimpulan bahwa proses PWHT dapat meningkatkan ketangguhan material hasil pengelasan. Berdasarkan hasil uji struktur mikro, dengan adanya variasi temperature dan waktu tahan yang digunakan terjadi adanya perubahan ukuran butiran pada daerah logam las. Selain itu terjadi penurunan persentase pada perlit dan kenaikan persentase pada ferit. Dimana ini dapat menurunkan kekerasan dan meningkatkan ketangguhan pada material yang membuat material tersebut memiliki sifat lebih ulet.

Kata kunci: *Post Weld Heat Treatment, SMAW, ketangguhan, impact, struktur mikro.*

PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan suatu proses penyambungan dua buah logam yang menggunakan energi panas sebagai pencair logam las sampai titik rekristalisasi logam dengan menggunakan energi panas ataupun tidak. DIN (*Deutch Industrie Normen*) dalam Harsono dkk(1991:1) mendefinisikan “Las adalah suatu sambungan logam yang

memiliki ikatan metalurgi yang dilakukan dalam keadaan yang lumer atau cair”. SMAW (*Shielded metal arc welding*) merupakan salah satu jenis pengelasan yang biasa digunakan di Indonesia, atau biasa disebut juga dengan las busur listrik. SMAW sendiri merupakan proses dari pengelasan yangmana sumber panasnya berasal dari busur listrik antar ujung elektroda dan

logam yang dilakukan pengelasan. Las SMAW sangat mudah penggunaannya untuk material baja, selain itu juga bisa digunakan dalam berbagai macam posisi pengelasan.

Proses yang terjadi pada pengelasan dapat memunculkan dampak pemanasan setempat dengan temperatur yang tinggi yang menyebabkan terjadinya ekspansi termal maupun penyusutan pada saat pendinginan pada logam. Kondisi tersebut menyebabkan munculnya tegangan sisa yang dapat memunculkan keretakan las pada daerah yang dilakukan pengelasan.

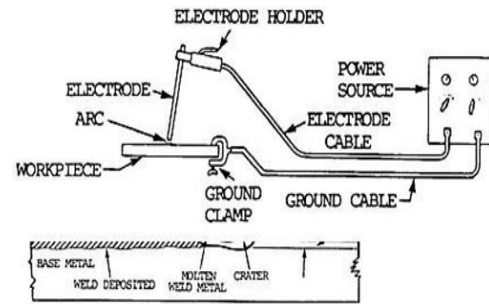
Untuk menghilangkan tegangan sisa bisa dilakukan dengan 2 cara, yaitu cara mekanik dan termal. Tetapi cara termal cenderung lebih sering digunakan dengan cara proses annealing. Selain *annealing* ada berbagai macam proses PWHT diantaranya *quenching*, *normalizing*. Dalam penelitian ini digunakan metode annealing.

Oleh sebab itu penulis melakukan penelitian lebih jauh mengenai hasil pengelasan metode SMAW dengan memberikan variasi temperature dan waktu tahan PWHT metode *Annealing*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisa pengaruh variasi temperature dan waktu tahan PWHT terhadap sifat mekanik hasil pengelasan SMAW pada baja ST41.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengelasan

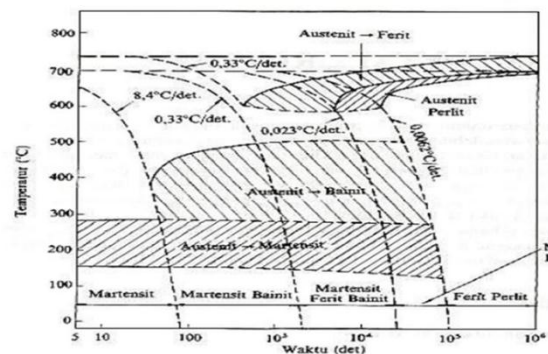
DIN (Deutch Industrie Normen) dalam Harsono dkk(1991:1) mendefinisikan “Las adalah suatu sambungan logam yang memiliki ikatan metalurgi yang dilakukan dalam keadaan yang lumer atau cair”. SMAW sendiri merupakan proses dari pengelasan yangmana sumber panasnya berasal dari busur listrik antar ujung elektroda dan logam yang dilakukan pengelasan. Beberapa hal yang perlu diteliti pada saat melakukan pengelasan yaitu : arus, material yang digunakan, elektroda, kecepatan las, posisi lasan, macam kampuh.



Gambar 2.1 Proses Las SMAW
(Sumber : Harsono Wiryosumarto 2008)

Struktur Mikro dan Sifat Mekanik

Continuous Cooling Transformation (CCT) merupakan diagram yang menjelaskan hubungan antar struktur mikro dengan kecepatan serta pendinginan yang terbentuk, hal tersebut dijelaskan pada diagram yang saling menghubungkan transformasi, temperature, serta waktu pendinginan.

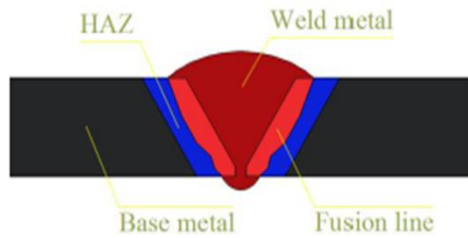


Gambar 2.2 Grafik CCT
(Sumber : ASTM 43430)

Siklus Termal Daerah Las

Terdapat 3 daerah pada area lasan diantaranya daerah HAZ atau daerah yang terpengaruh panas, logam las, serta daerah logam induk. Daerah logam las merupakan logam elektroda yang mencair akibat proses pemanasan lalu menjadi padat. Daerah HAZ merupakan daerah yang terkena efek pemanasan pada saat dilakukan proses pengelasan. Daerah logam induk merupakan daerah logam dasar yang tidak terpengaruh temperature pada pengelasan sehingga tidak merubah struktur mikro serta sifat mekaniknya.. Selain 3 daerah diatas, juga terdapat satu daerah lain yaitu daerah

batas antara logam lasan serta daerah yang terkena efek pemanasan dimana daerah tersebut dinamakan daerah batas las (fusion line)

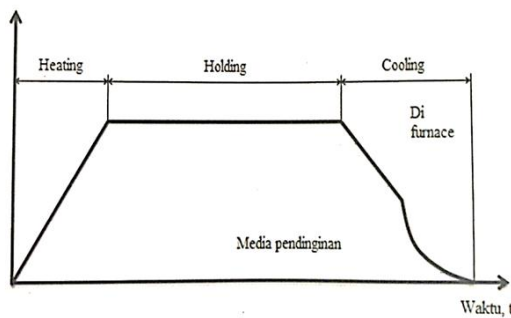


Gambar 2.3 Daerah Lasan

(PWHT) Post Weld Heat Treatment

PWHT merupakan tahapan dalam proses perlakuan panas dengan tujuan agar membuang tegangan sisa yang muncul akibat dari proses pengelasan. Bahan logam akan terjadi perubahan struktur dan ukuran butir akibat dari pemansaan serta pendinginan. (Vlack, 1981)

Proses PWHT bisa dijalankan dengan 2 cara, yaitu dengan cara memasukkan spesimen uji dalam dapur pemanas (furnace) atau dilakukan pemanasan lokal (localized) di daerah dekat lasan saja. Tahapan tahapan PWHT yang perlu diperhatikan yaitu heating rate, holding tempertur, dan cooling rate.

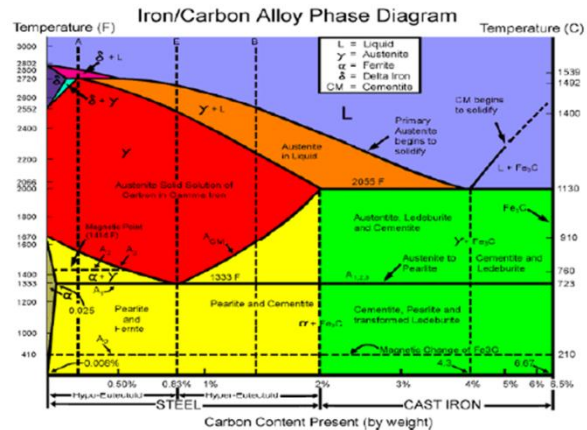


Gambar 2.4 Siklus Thermal PWHT

Diagram Fasa

Hubungan antara temperatur dan jumlah kadar karbon dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan serta pemanasan yang lambat ditampilkan dalam diagram yang disebut diagram fasa. Hal ini merupakan dasar teori tentang semua proses perlakuan panas. Diantara fungsi dari

diagram fasa tersebut adalah untuk memudahkan dalam pemilihan temperatur pemanasan yang sesuai dengan setiap proses perlakuan panas sesuai standart baik proses normalizing annealing, atau hardening (Amanto, 1999).



Gambar 2.5 Diagram Fe3C

Baja Karbon

Baja karbonn bisa dikategorikan berdasarkan jumlah kadar karbonnya, dimana baja karbon rendah memiliki kadar karbon kurang dari 0,3%. Baja karbon sedang memiliki kadar karbon 0,3-0,6% sedangkan baja karbon tinggi memiliki karbon 0,6-1,5%. (Amanto,1999)

Dalam penggunaan baja karbon rendah biasanya digunakan untuk komponen komponen mesin industri diantaranya rantai, gear, poros, serta skrup. Selain itu baja ST 41 merupakan jenis baja yang memiliki sifat lunak, ketangguhanya tinggi, ulet, serta tingkat kekerasan rendah. sifat lunak dan kekuatanya rendah namun dari segi keuletan

Unsur	% Komposisi kimia
Besi (Fe)	98,985
Karbon (C)	0,10
Mangan (Mn)	0,6
Silikon (Si)	0,25
Sulfur (S)	0,035
Phosfor (P)	0,03

Tabel 2.1 Komposisi Baja ST.41

Pengujian Metalografi

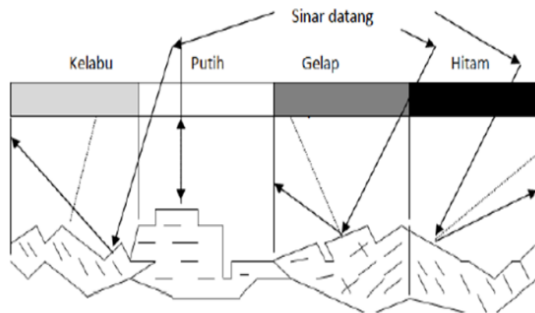
Metalografi adalah ilmu pengetahuan yang dikhususkan untuk mempelajari struktur pada logam serta mekanismenya. Pengujian struktur mikro dan makro merupakan bagian dari ilmu metalografi.

Pengujian Makro :

uji makro merupakan proses pengujian material dengan tujuan untuk melihat apakah terjadi cacat atau lubang pada permukaan spesimen dengan cara memfoto dengan kamera atau melihat dengan mata.

Pengujian Mikro :

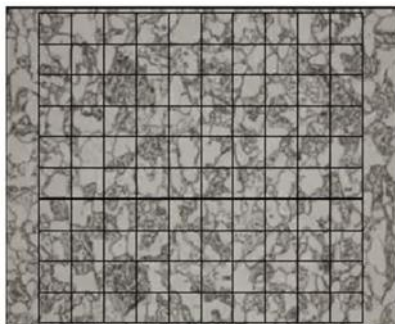
uji mikro merupakan sebuah pengujian yang mengamati tentang struktur dari material dengan cara melakukan pembesaran menggunakan *microscope* untuk melihat struktur mikro pada material tersebut.



Gambar 2.6 Pantulan Sinarr Uji Metalografy (Sumber : Callister, 2004)

Menghitung Persentase Fasa Uji Mikro :

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



Gambar 2.7 Cara Penentuan Titik Persentase Fasa .

Pengujian Impact

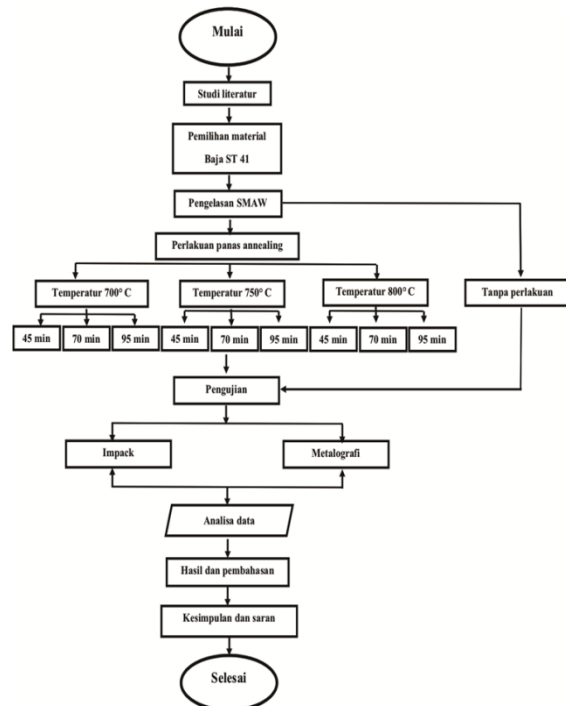
Pengujian impact digunakan untuk menentukan apakah material tersebut memiliki sifat rapuh/ulet berdasarkan sifat ketangguhan yang dimiliki. (Sumber : Dieter, George 1998). Ada 2 metode yang dijadikan standar pada pengujian impact, diantaranya uji impact metode charpy serta Izod.



Gambar 2.8 Alat Uji Impact Charpy

METODE PENELITIAN

Diagram Alir

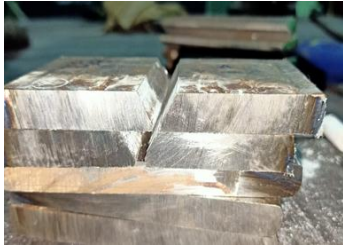


Gambar 3.1 Diagram Alir

PROSEDUR EKSPERIMEN

Persiapan Spesimen Pengujian

- 1.) Memilih Bahan Spesimen Uji.
Material baja ST.41 ketebalan 10 mm
- 2.) Pemilihan Elektroda, Arus Pengelasan.
Elektrode E7018 dengan diameter 3,2 x 350 mm, arus 120 A
- 3.) Pembuatan Kampu Las
Kampuh V sudut 60° posisi pengelasan 1G (mendatar dibawah tangan)



Gambar 3.2 Material Uji

Proses Pengelasan

Pengelasan menggunakan SMAW dengan parameter parameter diantaranya :

- 1) Pengelasan kampuh V tunggal
- 2) Arus 120 A
- 3) Tegangan 60 Volt
- 4) Posisi pengelasan 1 G



Gambar 3.3 Material setelah di las

Post Weld Heat Treatment

PWHT di lakukan dengan pemanasan di dalam dapur pemanasan yang memiliki kapasitas maksimum 3000°C . Material uji dipanasi sampai dengan temperatur bervariasi yaitu ($700,750,800^{\circ}\text{C}$) dengan waktu tahan 45,70,95 menit. Selanjutnya material didinginkan sampai dengan temperatur ruangan di dalam furnace.



Gambar 3.4 Proses Pemanasan Di *Furnace*

Pengujian Struktur Makro dan Mikro

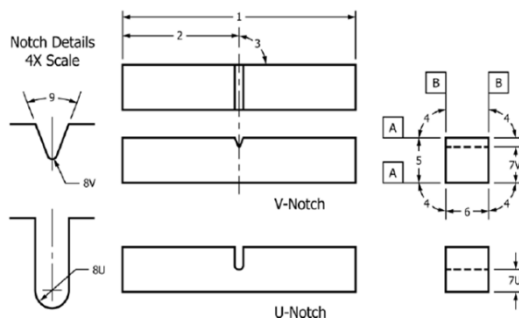
1. Material dipotong dengan arah potongan tegak lurus memotong alur las. Sehingga didapatkan profil las tampak samping.
2. Lalu permukaan bekas potongan di gerinda dan di amplas dengan kertas amplas ukuran 200 sampai dengan 2000, dilanjutkan *polishing* menggunakan autosol hingga mendapatkan permukaan seperti kaca.
3. Setelah didapatkan permukaan seperti kaca, material dibersihkan dengan menggunakan alkohol dan kapas untuk membersihkan dari sisa sisa autosol.
4. Kemudian dilanjutkan dengan proses etsa menggunakan larutan *nital* dengan komposisi HNO_3 2 % dan alkohol 98%. Lalu di usap hingga tampak perubahan warna area yang telah di polish menjadi tampak ke abu abuan.
5. Setelah di etsa material dibersihkan menggunakan air murni atau aquades untuk menghilangkan sisa sisa larutan *nital*.
6. Setelah itu material di amati makrostrukturnya dan di foto.
7. Material diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 500x pada daerah logam lasan, HAZ, serta logam induk



Gambar 3.5 Proses Etsa

Pengujian Impact

1. Mempersiapkan material yang akan dilakukan pengujian yang diukur dengan dimensi panjang spesimen 55 mm dan lebar spesimen 10 mm, setelah dilakukan pemotongan selanjutnya material diperhalus dengan cara dikikir, lalu selanjutnya spesimen dibuat takik ditengah sesuai standart pengujian.
2. Setelah itu spesimen yang telah di potong serta dibuat takik kemudian dilakukan pengujian dengan alat uji impact metode charpi. Pada spesimen uji yang pertama diletakkan di tempat alat pengujian, dengan takik di spesimen disejajarkan dengan alat pemukul pada pendulum alat pengujian, selanjutnya pendulum diangkat pada sudut pembebanan awal 110^0 , lalu pendulum dilepas sampai memotong spesimen.



Gambar 3.6 Dimensi spesimen uji impact

HASIL DAN PEMBAHASAN Foto Makro Spesimen



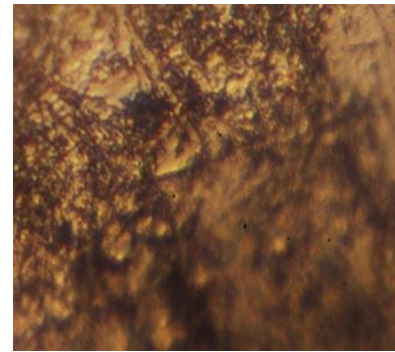
Gambar 4.1 Foto Makro Spesimen

Tujuan dilakukanya foto struktur makro pada penelitian ini yaitu agar dapat melihat seberapa besar masing masing daerah logam induk, daerah logam las serta daerah yang terpengaruh panas (HAZ) yang terjadi setelah proses pengelasan yang nantinya

untuk memudahkan pada saat diamati struktur mikronya.

Pemeriksaan dengan cara melihat secara langsung atau menggunakan kamera untuk mengetahui, logam lasan, logam induk serta daerah terpengaruh yang pans (HAZ).

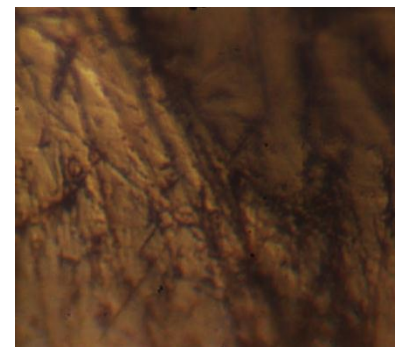
Hasil Penglihatan Struktur Mikro



Gambar 4.2 Struktur Pada HAZ



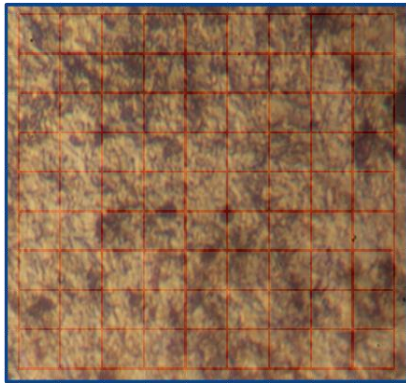
Gambar 4.3 Struktur Pada Logam Las



Gambar 4.4 Struktur Pada Logam Induk

Struktur mikkro terdapat fasa ferrit serta perlit, dari hasil foto mikro struktur diatas menunjukkan perbedaan jumlah ferit perlit pada masing masing daerah.

Perhitungan Struktur Mikro



Gambar 4.5 Perhitungan Persentase Fasa

Persentase Perlit :

$$\frac{\text{jumlah fasa perlit}}{\text{jumlah titik}} \times 100 = \dots\%$$

$$\frac{60}{100} \times 100 = 60\%$$

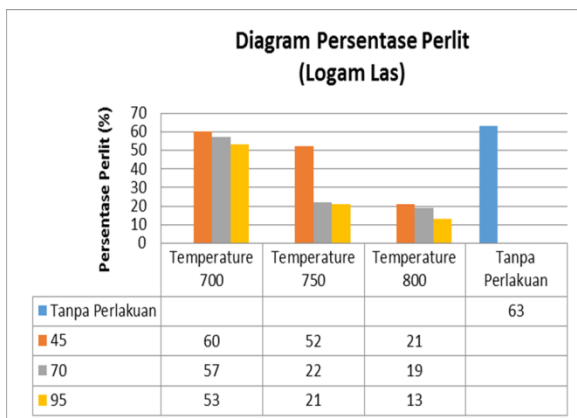
Persentase ferit :

$$100\% - \text{prosentase perlit} = \dots\%$$

$$100\% - 60\% = 40\%$$

Variasi PWHT	HAZ		Logam Las		Logam Induk	
	Perlit (%)	Ferit (%)	Perlit (%)	Ferlit (%)	Perlit (%)	Ferit (%)
700°C/45 mnt	61	39	60	40	28	72
700°C/70 mnt	59	41	57	43	21	79
700°C/95 mnt	55	45	53	47	20	80
750°C/45 mnt	51	49	52	48	18	82
750°C/70 mnt	29	71	22	78	15	85
750°C/95 mnt	27	73	21	79	14	86
800°C/45 mnt	26	74	21	79	12	88
800°C/70 mnt	22	78	19	81	11	89
800°C/95 mnt	17	83	13	87	11	89
Tanpa Perlakuan	65	35	63	37	34	66

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Persentase Fasa



Gambar 4.6 Diagram Persentase Perlit

Berdasarkan hasil data pengujian struktur mikro dapat diketahui pengaruh variasi temperature dan waktu tahan terhadap persentase perlit.

1. Pada diagram hasil uji mikro temperature 700⁰C dan waktu tahan 45 menit di dapatkan persentase perlit sebesar 60%
2. Pada diagram hasil uji mikro temperature 700⁰C dan waktu tahan 70 menit di dapatkan persentase perlit sebesar 57%
3. Pada diagram hasil uji mikro temperature 700⁰C dan waktu tahan 95 menit di dapatkan persentase perlit sebesar 53%
4. Pada diagram hasil uji mikro temperature 750⁰C dan waktu tahan 45 menit di dapatkan persentase perlit sebesar 52%
5. Pada diagram hasil uji mikro temperature 750⁰C dan waktu tahan 70 menit di dapatkan persentase perlit sebesar 22%
6. Pada diagram hasil uji mikro temperature 750⁰C dan waktu tahan 95 menit di dapatkan persentase perlit sebesar 21%
7. Pada diagram hasil uji mikro temperature 800⁰C dan waktu tahan 45 menit di dapatkan persentase perlit sebesar 21%
8. Pada diagram hasil uji mikro temperature 800⁰C dan waktu tahan 70 menit di dapatkan persentase perlit sebesar 19%
9. Pada diagram hasil uji mikro temperature 800⁰C dan waktu tahan 95 menit di dapatkan persentase perlit sebesar 13%
10. Pada diagram hasil uji mikro tanpa proses perlakuan panas di dapatkan persentase perlit sebesar 63%

Dari data pengujian struktur mikro pada diagram diatas dengan variasi temperature dan waktu tahan menunjukkan bahwa nilai persentase perlit tertinggi terdapat pada daerah logam las spesimen dengan temperature 700⁰C waktu tahan 45 menit, dan nilai persentase perlit terendah didapat pada daerah logam las spesimen dengan temperature 800⁰C waktu tahan 95 menit.

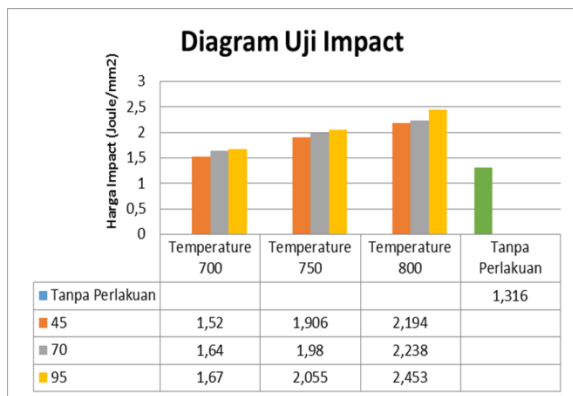
Sedangkan hasil struktur mikro di daerah logam las pada spesimen yang tidak diberikan perlakuan panas didapatkan hasil persentase perlit yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang diberikan perlakuan panas dengan variasi

temperatur dan waktu tahan yaitu sebesar 69%.

Hasil Pengujian Impact

No	Bahan	Temp. PWHT (°C)	Holding Time (menit)	T (°C)	A (mm ²)	α_1 (°)	α_2 (°)	E (J)	HI (J/mm ²)	Bentuk Patahan
1	ST.41	700	45	30 ^o	80	110	73	121.632	1,52	Getas
2		700	70	30 ^o	80	110	70	131,225	1,64	Getas
3		700	95	30 ^o	80	110	69	134,295	1,67	Getas
4		750	45	30 ^o	80	110	63	152,520	1,906	Getas
5		750	70	30 ^o	80	110	61	158,468	1,98	Ulet
6		750	95	30 ^o	80	110	59	164,415	2,055	Ulet
7		800	45	30 ^o	80	110	55	175,542	2,194	Ulet
8		800	70	30 ^o	80	110	51	186,286	2,238	Ulet
9		800	95	30 ^o	80	110	47	196,262	2,453	Ulet
10		Tanpa PWHT	-	-	-	80	110	78	105,325	1,316

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Uji Impact



Gambar 4.7 Diagram Uji Impact

Berdasarkan hasil data pengujian dapat diketahui pengaruh variasi temperature dan waktu tahan terhadap harga impact :

1. Pada diagram hasil uji impact temperature 700^oC dan waktu tahan 45 menit di dapatkan harga impact sebesar 1,52 J/mm²
2. Pada diagram hasil uji impact temperature 700^oC dan waktu tahan 70 menit di dapatkan harga impact sebesar 1,64 J/mm²
3. Pada diagram hasil uji impact temperature 700^oC dan waktu tahan 95 menit di dapatkan harga impact sebesar 1,67

J/mm²

4. Pada diagram hasil uji impact temperature 750^oC dan waktu tahan 45 menit di dapatkan harga impact sebesar 1,906 J/mm²
5. Pada diagram hasil uji impact temperature 750^oC dan waktu tahan 70 menit di dapatkan harga impact sebesar 1,98 J/mm²
6. Pada diagram hasil uji impact temperature 750^oC dan waktu tahan 95 menit di dapatkan harga impact sebesar 2,055 J/mm²
7. Pada diagram hasil uji impact temperature 800^oC dan waktu tahan 45 menit di dapatkan harga impact sebesar 2,194 J/mm²
8. Pada diagram hasil uji impact temperature 800^oC dan waktu tahan 70 menit di dapatkan harga impact sebesar 2,238 J/mm²
9. Pada diagram hasil uji impact temperature 800^oC dan waktu tahan 95 menit di dapatkan harga impact sebesar 2,453 J/mm²
10. Pada diagram hasil uji impact tanpa proses perlakuan panas di dapatkan harga impact sebesar 1,316 J/mm²

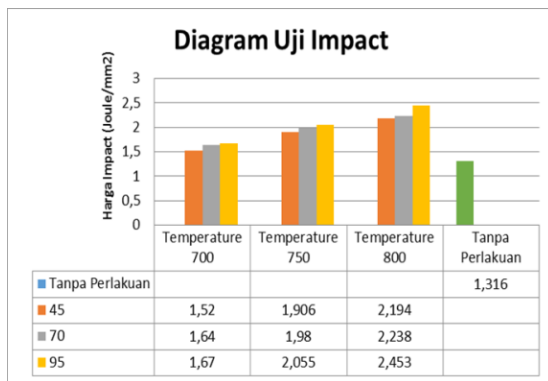
Hasil data dari pengujian impact dengan variasi temperature dan waktu tahan diatas menunjukkan bahwa nilai ketangguhan impact tertinggi terdapat pada temperature 800^oC waktu tahan 95 menit dengan harga impact sebesar 2,453 J/mm², dan nilai ketangguhan impact terendah terdapat pada temperature 700^oC waktu tahan 45 menit dengan harga impact sebesar 1,52 J/mm²

Sedangkan hasil pengujian impact pada spesimen tanpa perlakuan panas di dapatkan hasil harga impact yang ternyata lebih rendah dibanding pada spesimen yang diberikan perlakuan panas yang diberikan variasi temperatur dan waktu tahan yaitu sebesar 1,316 J/mm²

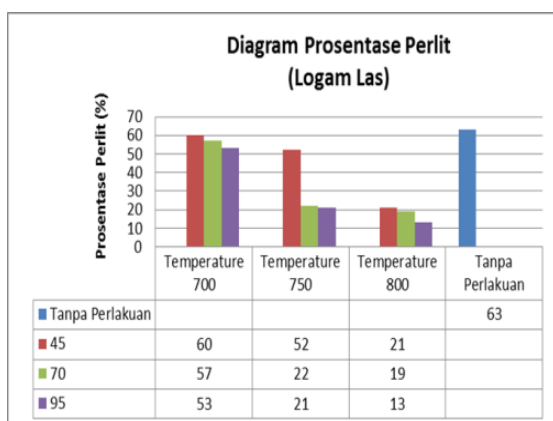


Gambar 4.8 Spesimen Hasil Uji Impact

Hubungan Hasil Uji Impact dan Mikro



Gambar 4.9 Hasil Uji Impact



Gambar 4.10 Diagram Persentase Perlit

Pada diagram uji impact menunjukkan semakin tinggi temperature *PWHT* dan waktu tahan akan menghasilkan harga impact yang lebih tinggi, kenaikan harga

impact sangat berpengaruh untuk meningkatkan sifat ketangguhan dari material. Hal ini sejalan dengan diagram struktur mikro khususnya pada daerah logam las. Di dalam diagram tersebut menunjukkan grafik persentase perlit yang semakin menurun pada tiap variasi temperatur dan waktu tahan, Dimana semakin kecil persentase perlit cenderung bersifat ulet. Jadi keduanya menunjukkan data hasil penelitian bahwa proses *PWHT* dapat menurunkan tingkat kekerasan dan meningkatkan sifat ketangguhan material.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan terhadap hasil pengelasan material baja ST.41 dengan proses *PWHT* menggunakan variasi temperature dan waktu tahan dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Hasil dari penelitian ini bisa diambil kesimpulan bahwa proses *PWHT* dapat berpengaruh terhadap sifat mekanik pada hasil pengelasan material baja ST 41. Hal ini ditunjukkan dari data hasil pengujian impact dimana harga impact tertinggi didapat pada spesimen yang diberikan perlakuan panas, sedangkan harga impact terendah didapat pada spesimen yang tidak diberikan perlakuan panas. Dimana semakin tinggi harga impact akan menaikkan sifat ketangguhan pada material. Dapat diambil kesimpulan bahwa proses *PWHT* bisa meningkatkan sifat ketangguhan pada material setelah dilakukan pengelasan.
2. Dari hasil pengujian struktur mikro, menunjukkan semakin tinggi temperature dan waktu tahan *PWHT* akan menurunkan persentase perlit pada daerah logam las. Dimana semakin kecil persentase perlit cenderung bersifat ulet, sedangkan semakin besar persentase perlit akan membuat lebih getas. Dapat disimpulkan dengan adanya variasi temperatur dan waktu tahan *PWHT* menyebabkan turunya persentase perlit yang membuat material tersebut menjadi lebih ulet.

3. Dari hasil uji impact, menunjukkan semakin tinggi temperatur dan waktu tahan *PWHT* akan menaikkan harga impact. Dimana semakin tinggi harga impact maka akan menaikkan sifat ketangguhan material tersebut. Dapat disimpulkan adanya proses variasi temperature dan waktu tahan *PWHT* dapat menyebabkan naiknya ketangguhan pada baja ST.41

Saran

1. Melakukan pengujian kekerasan pada penelitian selanjutnya untuk mengetahui tingkat kekerasan pada hasil pengelasan yang di *PWHT*.
2. Pada penelitian ini digunakan material baja karbon rendah, untuk penelitian selanjutnya bisa digunakan material dengan kadar karbon sedang atau tinggi untuk mengetahui pengaruh *PWHT* terhadap sifat mekaniknya.

- Fakultas Teknik Pertambangan Dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung Indonesia
- Ananda, Trio Fazli. "Pengaruh Proses *Post Weld Heat Treatment* Pada Hasil Pengelasan *SMAW* Terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah". Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia.
- An American Standard. (1995). "Standard Practice For Preparation of Metallographic Specimens". Journal E-3 95

DAFTAR PUSTAKA

- Handoyo, Yopi. (2018). "Perancangan Alat Uji Impact Metode Charpy Kapasitas 100 Joule". Universitas Islam, Bekasi.
- Vlack, V. (1981), Ilmu dan Teknologi, ERLANGGA, Jakarta
- Callister, William. (2004). "Material Science and Engineering an Introduction" New York
- An American Standard. (2016). "Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials". Journal ASTM E-23
- Dieter George E. (1987). Metalurgi Mekanik, Halaman 91-117, Edisi ketiga, Jilid Iii, Erlangga, 1042, Jakarta.
- Amanto, H., & Daryanto. (1999), Ilmu Bahan. Bumi Aksara, Jakarta
- Harsono Wiryosumarto & Toshie Okumura. (1985). "Teknologi Pengelasan Logam". PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Imami, Tio Gefien. (2017). "Analisis Struktur Mikro Baja Tulangan Karbon Sedang". Program Studi Teknik Metalurgi,