



Analisa Kekerasan Rockwell dan Metalografi Hasil PWHT pada Pengelasan SMAW Baja ST41 dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan

Maula Nafi, Djoko Sulistyono, Moh. Mufti, Dimas Ruseno

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

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

Email: maula.nafi@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Pada proses pengelasan bisa menyebabkan efek pemanasan setempat. Hal inilah yang menyebabkan material logam mengalami ekspansi termal ataupun penyusutan saat terjadi proses pendinginan. Dalam keadaan tersebut bisa menyebabkan perubahan mikrostruktur, tegangan sisa, perubahan kekerasan dan menyebabkan ketangguhan yang berbeda beda pada setiap material konstruksi. Adapun cara untuk memperbaikinya adalah dengan dilakukan *Post Weld Heat Treatment* selanjutnya di singkat *PWHT*. Penelitian ini bertujuan untuk (1) Mengetahui pengaruh variasi temperatur dan waktu tahanan *PWHT* terhadap struktur mikro pada hasil pengelasan material baja ST41, (2) Mengetahui pengaruh variasi temperatur dan waktu tahanan *PWHT* terhadap kekerasan pada hasil pengelasan material baja ST41, (3) Mengetahui pengaruh *PWHT* terhadap kekerasan pada hasil pengelasan material baja ST41. Dalam penelitian ini digunakan material baja ST41. Menggunakan proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* selanjutnya di singkat *SMAW* dengan elektroda E7018. Perlakuan panas setelah proses pengelasan menggunakan perlakuan panas *annealing*. Pada proses *annealing* ini diberikan variasi temperatur dan waktu tahanan. Selanjutnya dilakukan pengujian *rockwell* untuk mencari nilai kekerasan dan analisa mikrostruktur setelah dilakukan proses *PWHT*. Hasilnya adalah pada spesimen baja ST 41 tanpa proses *PWHT* menunjukkan nilai kekerasan pada logam induk 83,7 HR_B , logam las 84,2 HR_B dan *HAZ* 86,7 HR_B sedangkan spesimen baja ST.41 dengan variasi temperature dan waktu tahanan menunjukkan nilai kekerasan terendah di dapat dari temperatur 850 °C dengan waktu tahanan 90 menit yaitu dengan nilai kekerasan pada logam induk 75,2 HR_B , logam las 78,2 HR_B dan *HAZ* 80 HR_B . Hal ini dapat diperoleh kesimpulan bahwa proses *PWHT* dapat menurunkan tingkat kekerasan material hasil pengelasan.

Kata kunci: *PWHT, SMAW, Annealing, kekerasan, rockwell B 1/16*, struktur mikro

PENDAHULUAN

SMAW merupakan salah satu proses pengelasan yang cara kerjanya mencairkan logam akibat panas dari busur listrik dengan elektroda yang ujungnya terbungkus kepada logam induk untuk material pengelasan.

Saat ini di Indonesia banyak digunakan pengelasan *SMAW*. Dalam proses pengelasan *SMAW* bisa

menyebabkan ekspansi termal dan memunculkan efek pemanasan setempat maupun penyusutan saat pendinginan terjadi. Hal ini berakibat terjadinya tegangan sisa pada daerah-daerah sekitar pengelasan logam atau disebut daerah *HAZ*. Tegangan sisa ini bisa menyebabkan retak pada pengelasan dan bisa membahayakan konstruksi apabila menerima pembebanan. Untuk itu perlu diberikan perlakuan panas

untuk membebaskan tegangan sisa.

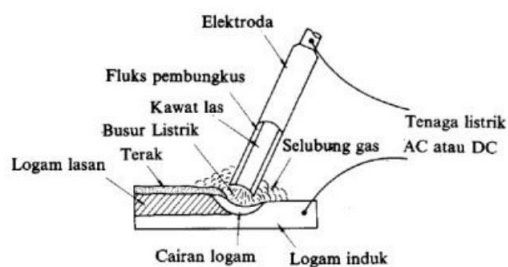
Untuk membebaskan tegangan sisa dilakukan dengan cara termal *annealing*. Fungsi *annealing* adalah meningkatkan ketangguhan pada *HAZ* dan menghilangkan tegangan sisa yang terjadi pada material logam.

Oleh karena itu penulis melakukan penelitian mengenai *PWHT* menggunakan pengelasan *SMAW* dengan temperatur dan waktu tahan yang beragam. Penelitian ini bertujuan untuk mencari tahu perbedaan variasi temperatur dan waktu tahan *PWHT annealing* yang terjadi pada sifat mekanik yang dihasilkan oleh pengelasan *SMAW* material baja ST41

TINJAUAN PUSTAKA

Pengelasan

ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair adalah definisi dari pengelasan. Saat ini pengelasan yang paling banyak digunakan adalah las *SMAW*. Gambar 2.1 menunjukkan las (*SMAW*).

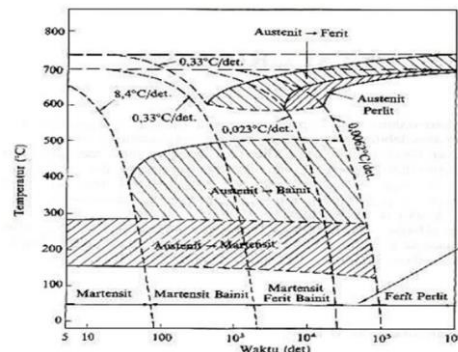


Gambar 2. 1 Las busur dengan elektroda terbungkus

Metalurgi Las

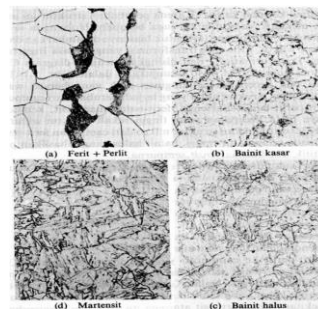
Bentuk mikrostruktur dari baja diakibatkan oleh kecepatan pendinginnya. Dimulai dari temperatur daerah *austenit* sampai ke suhu kamar. Perubahan mikrostruktur ini menyebabkan sifat mekanik juga ikut berubah. Hal ini bisa dijelaskan dari hubungan struktur mikro dan kecepatan pendingin yang ditentukan oleh waktu, temperatur dan transformasi pada "*Continuous Cooling Transformation*"

(Harsono Wiryosumarto, 1988). Berikut ini ditunjukkan pada gambar 2.2



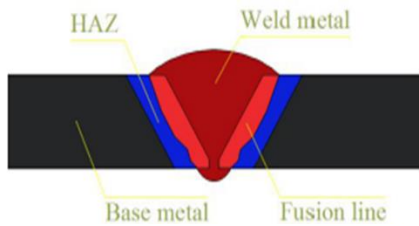
Gambar 2. 2 Diagram CCT

Jika kecepatan pendinginannya naik maka waktu pendinginannya dari temperatur austenit turun, terjadilah perubahan struktur campuran ferit-perlit, ferit-perlit-bainit-martensit, bainit-martensit dan berakhir menjadi martensit sempurna. Strukturnya bisa dilihat dalam gambar dibawah ini.



Gambar 2. 3 Mikrostruktur

Pembagian daerah lasan umumnya ada 3 yaitu *Base Metal*, *Weld Metal* dan *Heat Affected Zone (HAZ)*. *Base Metal* adalah daerah dimana panas yang mengenai logam tidak sampai mengalami perubahan struktur mikro. *Weld Metal* adalah mencairnya logam las pada daerah logam lasan. *Heat Affected Zone* adalah daerah yang terkena panas akibat proses pengelasan yang bisa menyebabkan proses termal karena pendinginannya yang terjadi cepat. *HAZ* ini biasanya mengalami perubahan struktur mikro dan menyebabkan terjadinya tegangan sisa pada logam hasil proses pengelasan.



Gambar 2. 4 Penamaan zona dan batas pengaruh panas

Tegangan Sisa

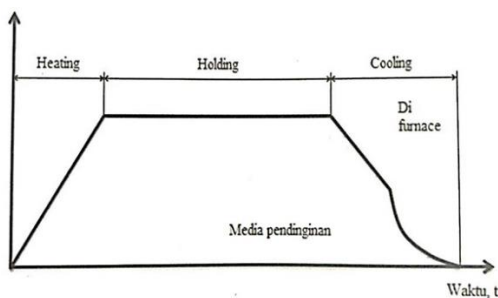
Terjadinya tegangan sisa adalah karena siklus termal yang berupa pemanasan dan pendinginan cepat yang terjadi antara logam las dan logam induk.

Post Weld Heat Treatment (PWHT)

PWHT yaitu proses pemanasan ulang yang dilakukan pada saat logam atau material sudah mengalami proses pengelasan untuk menghilangkan tegangan sisa yang terjadi pada waktu proses pengelasan dan pendinginan yang terjadi. Material biasanya mengalami perubahan mikrostruktur akibat dari pemanasan dan pendinginan yang terjadi. Perubahan mikrostruktur ini bisa membuat material keras dan ketangguhannya lemah.

PWHT bertujuan untuk:

1. Membebaskan tegangan sisa
2. Mengurangi tingkat kekerasan
3. Memperkuat ketangguhan material
4. memperbaiki kekuatan keuletan material
5. Memperkuat ketahanan oleh retak yang disebabkan oleh keadaan lingkungan
6. Meningkatkan mampu machining

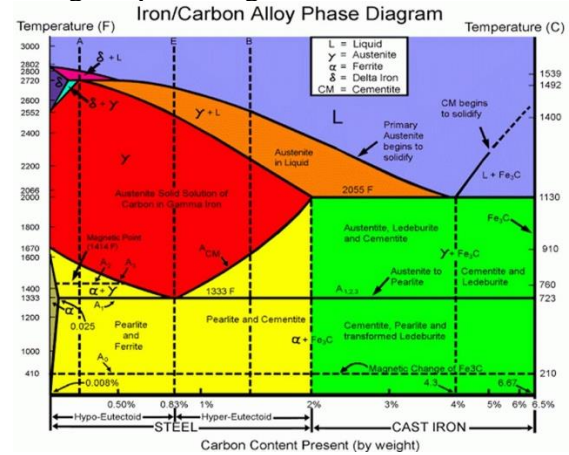


Gambar 2. 5 Siklus Termal PWHT

Diagram Fe3C

Dari diagram Fe3C bisa diketahui

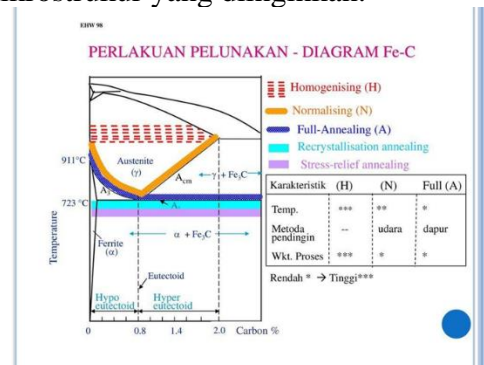
pengaruh mikrostruktur yang terjadi selama pemanasan logam sampai pendinginannya yang terjadi. Lewat diagram ini bisa diketahui perubahan fasa yang terjadi dan tingkat kandungan karbon yang ada dalam material logam. Pemahaman operasional perlakuan panas bisa dilihat dari perubahan fasa yang terjadi. Temperatur yang digunakan pada saat pemanasan atau pendinginan bisa mengacu pada diagram fasa ini.



Gambar 2. 6 Diagram Fe3C

Annealing

Menurut Amanto dkk (2003), annealing didefinisikan sebagai pemanasan dilakukan dengan temperatur yang sesuai, diikuti oleh kecepatan pendinginan yang sesuai juga. Tujuannya adalah untuk melunakkan material logam yang di annealing, membenahi sifat dari pengerjaan dingin dan membebaskan tegangan sisa sehingga memiliki mikrostruktur yang diinginkan.



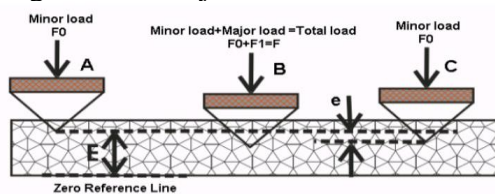
Gambar 2. 7 Diagram Annealing

Uji Rockwell (Kekerasan)

Dilakukannya uji rockwell untuk

menentukan tingkat nilai kekerasan pada setiap daerah base metal, weld metal dan HAZ setelah diberi perlakuan panas annealing.

perhitungan nilai kekerasan pada uji rockwell bisa langsung dilihat pada mesin uji rockwell dan untuk memastikan akurasinya biasanya dilakukan beberapa kali pengujian pada zona atau daerah uji yang sama kemudian di cari rata rata nilai kekerasannya. Indentor yang sering digunakan adalah bola baja dan kerucut intan. Caranya diberikan beban minor dulu sebesar 10 kgf dan kemudian di beri beban mayor 60 kgf -100 kgf pada bola baja dan 150 kgf pada kerucut intan. Perhatikan gambar 2.8 dan gambar 2.9 berikut ini untuk mengetahui alat uji rockwell.



Gambar 2. 8 Penetrasi rockwell

Deskripsi :

- F0 = Beban mula-mula (kgf)
- F1 = penambahan beban (kgf)
- F = Beban keseluruhan (kgf)
- e = Penambahan kedalaman tekan (kgf)
- E = Konstata Indantor



Gambar 2. 9 uji rockwell

Warna merah (B) dan hitam (C) adalah Skala pada rockwell.. Skala warna merah untuk indentor bola sedangkan skala hitam untuk indentor kerucut intan. Skala (B) untuk baja karbon rendah dan skala (C) untuk baja karbon tinggi. Adapun standar

skala kekerasan metode pengujian rockwell lebih lengkapnya ditunjukkan pada tabel 2.3

Tabel 2. 1 uji rockwell

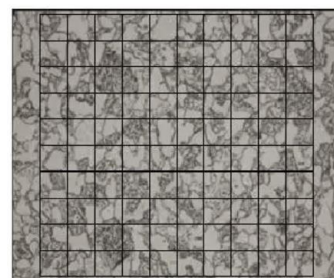
Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

Struktur makro dan mikro

Ilmu yang mempelajari mikrostruktur dan sefiat mekanik logam disebut juga dengan istilah metalografi. Ada dua macam pengujian pada metalografi yakni uji mikro dan uji makro. Uji mikro adalah untuk melihat ferit perlit yang terkandung dalam baja dengan alat bantu mikroskop pembesaran 500 kali. Sedangkan uji makro adalah pengujian yang dilakukan dengan mata terbuka atau dengan alat bantu kamera untuk diamati cacat lasnya.

Menghitung prosentase fasa ferit perlit menggunakan point count. Caranya membuat garis kotak kotak pada gambar struktur mikro hingga didapatkan 100 titik, setelah itu persentase fasa yang dicari di hitung menggunakan rumus dibawah ini.

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



Gambar 2. 10 Perhitungan titik pada prosentase fasa

Baja ST41

Menurut Amanto dan Daryanto, (1999) baja karbon dibedakan menjadi 3 yakni, karbon rendah $<0,3\%$, karbon sedang $0,3\% - 0,6\%$ dan karbon tinggi $0,6\% - 1,5\%$.

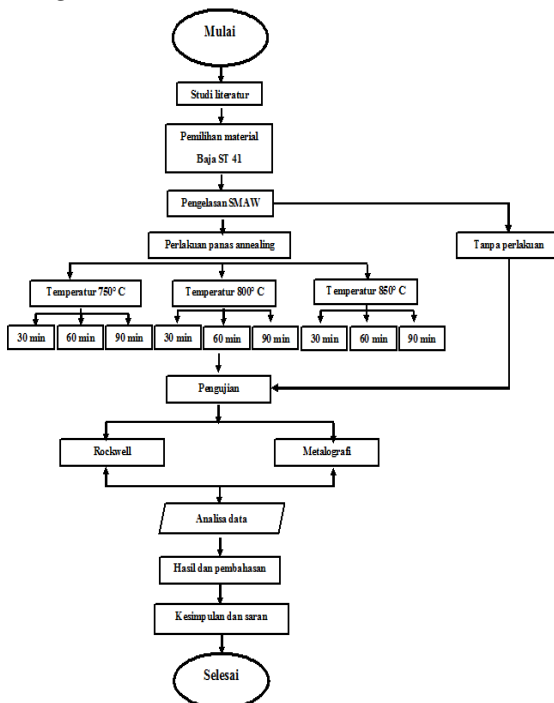
Baja ST 41 adalah baja karbon rendah karena karbonnya kurang dari 30% .

Tabel 2. 2 Komposisi baja ST41

Unsur	% Komposisi kimia
Besi (Fe)	98,985
Karbon (C)	0,1
Mangan (Mn)	0,6
Silikon (Si)	0,25
Sulfur (S)	0,035
Phosfor (P)	0,03

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

PROSEDUR EKSPERIMEN

Baja ST41 adalah Material yang digunakan dan termasuk baja karbon rendah.

Persiapan Specimen

Awal mula dari penelitian ini adalah mempersiapkan spesimen material yang akan dipergunakan untuk pengujian. Persiapan ini meliputi

1. pemilihan material baja ST41 yang tebalnya 10 mm.
2. Elektroda las E7018 berdiameter 3,2 mm x 350 mm.
3. Kampuh las yang digunakan berbentuk V atau bersudut 60 derajat



Gambar 4. 1 Bentuk kampuh las

Pengelasan

Menggunakan las SMAW dengan ketentuan sebagai berikut :

- a. Kampuhnya berbentuk V tunggal.
- b. Arusnya yang digunakan 120A
- c. Tegangan 26 V
- d. Posisi pengelasan 1G



Gambar 4. 2 Hasil pengelasan

Post Weld Heat Treatment (PWHT)

Setelah spesimen uji dibuat, langkah selanjutnya adalah proses PWHT. PWHT di lakukan pada dapur pemanas yang memiliki kapasitas $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$. material uji dipanasi sampai dengan temperatur bervariasi yaitu (750°C , 800°C , 850°C) dengan waktu tahan 30,60,90 menit. Selanjutnya material didinginkan sampai dengan temperatur ruangan di dalam furnace.



Gambar 4. 3 Proses pemanasan di dalam furnace

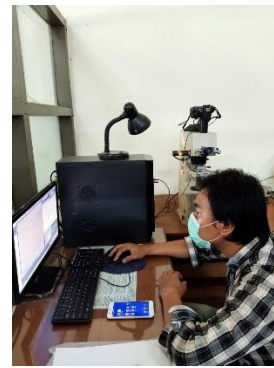
Pengujian Struktur Mikro

1. Material hasil pengelasan dipotong dengan arah potongan tegak lurus memotong alur las.
2. Setelah itu permukaan bekas potongan di gerinda dan di amplas dengan kertas amplas berbagai ukuran dimulai dengan ukuran 200 sampai dengan 2000, dan dilanjutkan dengan 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. Dilanjutkan dengan proses etsa menggunakan larutan nital dengan komposisi HNO_3 2 % dan alkohol 98%. Proses etsa ini dilakukan dengan menggunakan kapas yang dibasahi dengan larutan nital, setelah itu kapas diusapkan ke area lasan dan sekitarnya selama kurang lebih 5 detik 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 agar material tidak mengalami korosi yang dapat mengganggu pengamatan.

6. Setelah itu material di amati makrostrukturnya dan di foto.
7. Material diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 200x – 500x



Gambar 4. 4 Proses etsa



Gambar 4. 5 Proses foto mikrostruktur

Pengujian Kekerasan Rockwell

1. Spesimen yang digunakan uji kekerasan adalah material yang digunakan uji mikrostruktur.
2. Indentor uji kekerasan di tepatkan di area yang akan di uji.
3. Indentor menggunakan Ball 1/16” untuk baja karbon rendah.
4. Pemberian beban minor 10 Kgf
5. Pemberian beban mayor 90 Kgf
6. Skala ukur digunakan dengan indikator warna merah pada dial gauge
7. Setelah itu indentor di tekan ke material lalu muncul nilai kekerasan pada alat uji kekerasan.
8. Uji Kekerasan mengacu pada *ASTM E18 – 15*



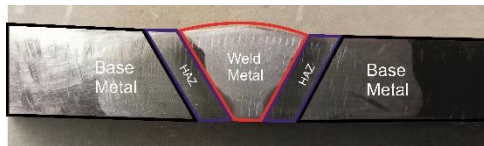
Gmbar 4. 6 Spesimen



Gambar 4. 7 Uji rockwell

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Foto Struktur Makro



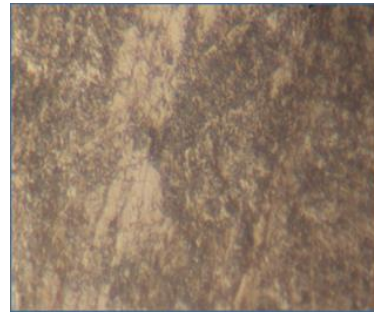
Gambar 5. 1 Hasil Foto makro

Tujuan dari analisa struktur makro pada penelitian ini adalah untuk dapat memperkirakan besarnya lebar daerah logam las, daerah pengaruh panas (*HAZ*) dan daerah logam induk 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 induk, logam las dan daerah terpengaruh panas (*HAZ*).

Hasil Pengamatan mikrostruktur

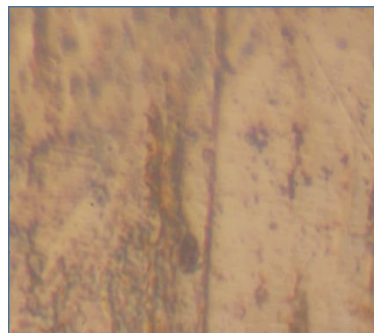
Hasil dari pengamatan mikrostruktur, struktur terdiri dari struktur ferit yang ditunjukkan dengan warna terang dan perlit ditunjukkan dengan warna gelap. Berikut foto hasil pengujian struktur mikro menggunakan perbesaran 500x.



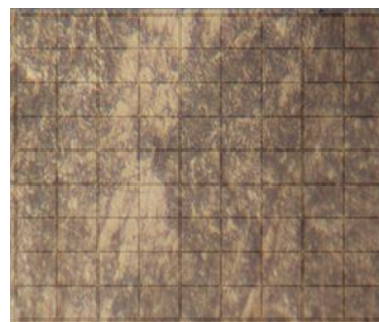
gambar 5. 2 HAZ



gambar 5. 3 Weld Metal



gambar 5. 4 Base Metal



gambar 5. 5 Perhitungan prosentase fasa

$$\begin{aligned} \text{Prosentase Perlit} &: \frac{\text{jumlah fasa perlit}}{\text{jumlah titik}} \times 100 \\ &= \dots\% \\ \frac{77}{100} \times 100\% &= 77\% \end{aligned}$$

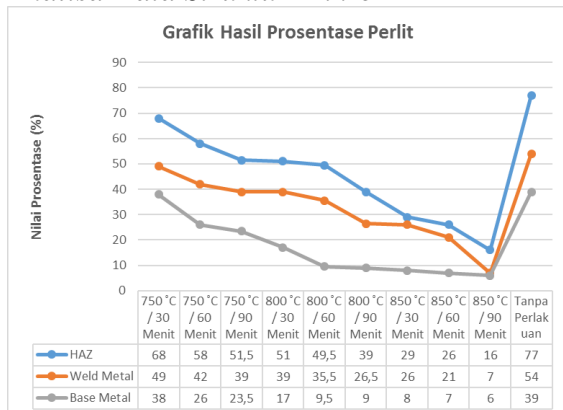
$$\begin{aligned} \text{Prosentase ferit} &: 100\% - \text{prosentase perlit} \\ &= \dots\% \\ 100\% - 77\% &= 23\% \end{aligned}$$

Tabel 5. 1 Data Hasil Perhitungan Prosentase Perlit

No.	HAZ	Weld Metal	Base Metal	Keterangan
1	68	49	38	750 °C / 30 Menit
2	58	42	26	750 °C / 60 Menit
3	51,5	39	23,5	750 °C / 90 Menit
4	51	39	17	800 °C / 30 Menit
5	49,5	35,5	9,5	800 °C / 60 Menit
6	39	26,5	9	800 °C / 90 Menit
7	29	26	8	850 °C / 30 Menit
8	26	21	7	850 °C / 60 Menit
9	16	7	6	850 °C / 90 Menit
10	77	54	39	Tanpa Perlakuan

Struktur mikro pada setiap daerah menunjukkan perbedaan jumlah prosentasenya.

Analisa Data Struktur Mikro

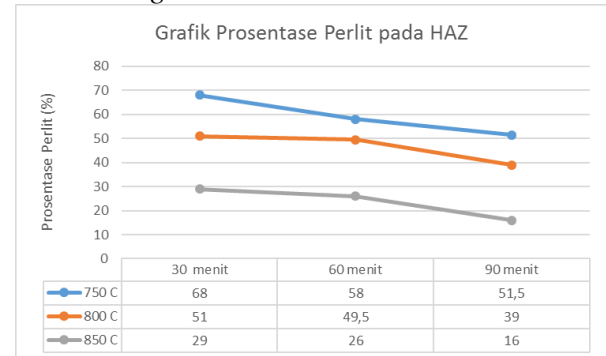


Gambar 5. 6 Grafik prosentase perlit

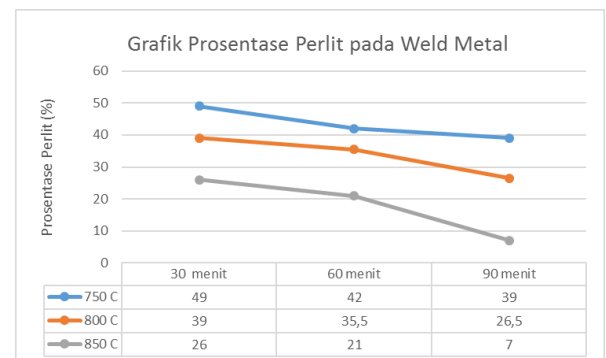
Daerah pada HAZ, logam las dan logam induk terjadi perubahan nilai prosentase perlit. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu tahan yang di gunakan menyebabkan penurunan nilai prosentase perlit. Dengan prosentase perlit terendah ditunjukkan pada spesimen perlakuan panas dengan PWHT temperatur 850 °C dan waktu tahan 90 menit yaitu Perlit 16% pada HAZ, Perlit 7% pada logam las, Perlit 6% pada logam induk.

Sedangkan spesimen tanpa PWHT memiliki nilai prosentase perlit paling tinggi dibandingkan dengan spesimen yang diberikan PWHT yaitu Perlit 77% pada HAZ, Perlit 54% pada logam las, Perlit 39% pada logam induk.

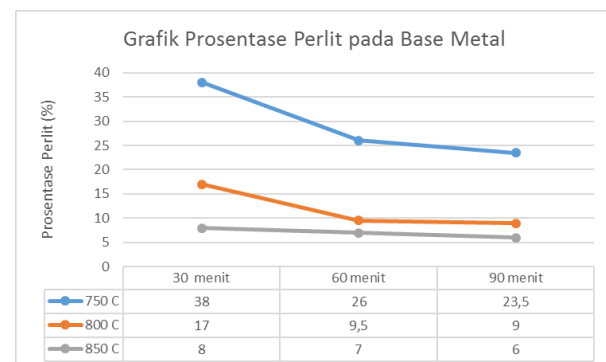
Perbandingan Hasil Prosentase Perlit



Gambar 5. 7 Perbandingan prosentase perlit pada HAZ



Gambar 5. 8 Perbandingan prosentase perlit pada weld metal



Gambar 5. 9 Perbandingan prosentase perlit pada base metal

Dari gambar diatas grafik prosentase Perlit pada setiap daerah terlihat tren penurunan pada setiap temperatur yang digunakan, Semakin tinggi temperatur yang diberikan dan semakin lama waktu tahan PWHT yang digunakan prosentase perlit semakin menurun.

Pengujian Rockwell (Kekerasan)

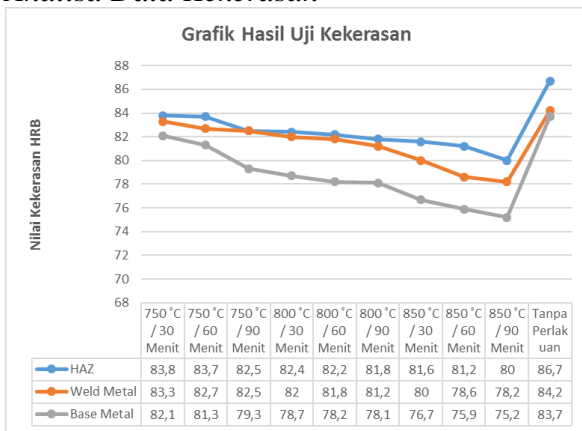
Pengujian rockwell dilakukan dengan menggunakan mesin Rockwell indentor B 1/16". Pengujian ini bertujuan untuk mencari nilai rata rata dari kekerasannya.

Tabel 5. 2 Data Hasil Perhitungan Prosentase Perlit

Nomor Spesimen	Rata-Rata Nilai Harga Rockwell (HRB)			
	HAZ	Weld Metal	Base Metal	Keterangan
1	83,8	83,3	82,1	750 °C / 30 Menit
2	83,7	82,7	81,3	750 °C / 60 Menit
3	82,5	82,5	79,3	750 °C / 90 Menit
4	82,4	82	78,7	800 °C / 30 Menit
5	82,2	81,8	78,2	800 °C / 60 Menit
6	81,8	81,2	78,1	800 °C / 90 Menit
7	81,6	80	76,7	850 °C / 30 Menit
8	81,2	78,6	75,9	850 °C / 60 Menit
9	80	78,2	75,2	850 °C / 90 Menit
10	86,7	84,2	83,7	Tanpa Perlakuan

Nilai kekerasan hasil pengujian pada setiap daerah dapat dilihat pada tabel 5.2

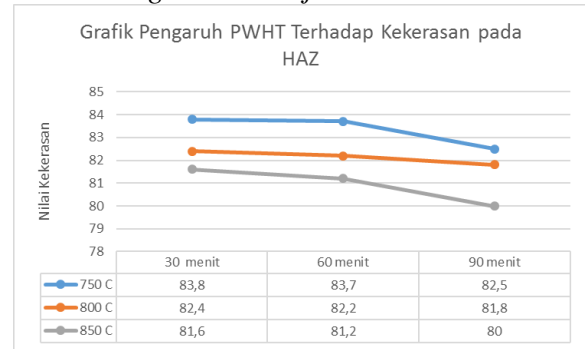
Analisa Data Kekerasan



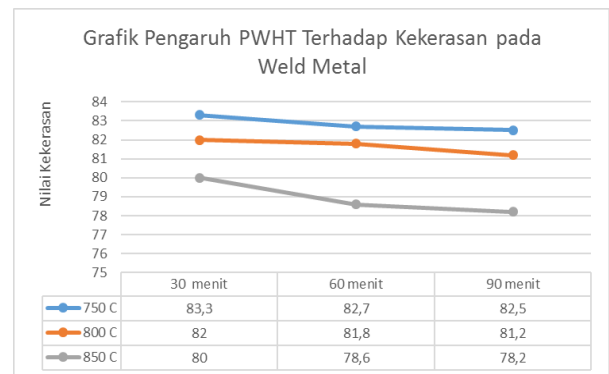
Gambar 5. 10 Grafik uji Kekerasan Rockwell

PWHT mempengaruhi kekerasan pada hasil pengelasan baja ST 41. Perbedaan kekerasan terlihat signifikan antara spesimen yang telah dilakukan PWHT dan tidak, pada daerah logam las dan HAZ. Nilai kekerasan pada spesimen yang tidak di lakukan PWHT pada logam induk 83,7 HR_B, logam las 84,2 HR_B dan pada HAZ 86,7 HR_B. Sedangkan nilai kekerasan pada spesimen yang telah di PWHT terendah didapatkan pada spesimen dengan temperature 850 °C dan waktu tahan 90 menit dengan nilai kekerasan pada daerah logam induk 75,2 HR_B, logam las 78,2 HR_B dan pada HAZ 80 HR_B

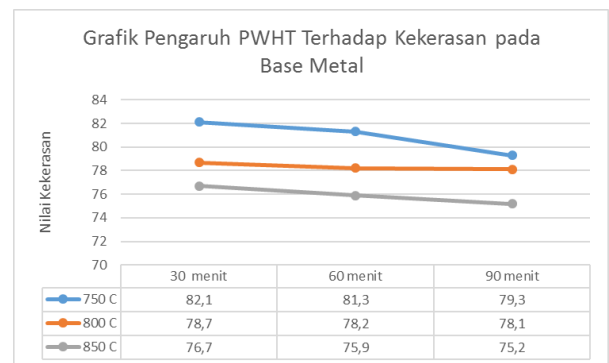
Perbandingan Hasil Uji Kekerasan



Gambar 5. 11 Grafik uji rockwell daerah HAZ



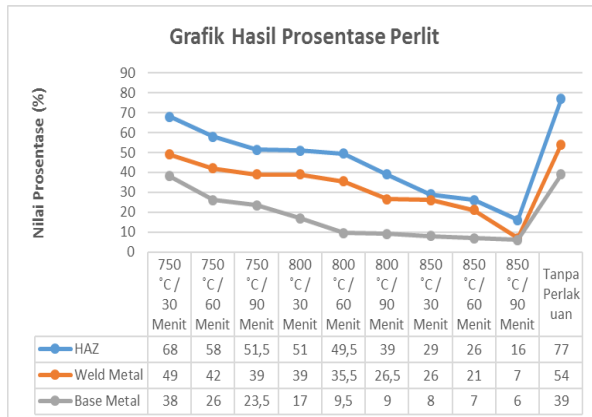
Gambar 5. 12 Grafik uji rockwell daerah weld metal



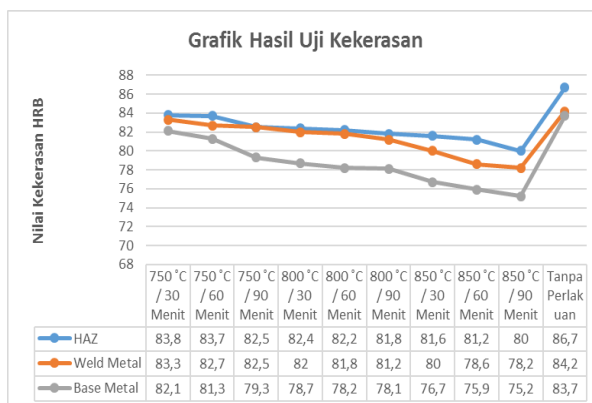
Gambar 5. 13 Grafik uji rockwell daerah base metal

Grafik diatas menunjukkan nilai kekerasan uji rockwell pada daerah HAZ, logam las dan logam induk yang mengalami tren penurunan pada setiap temperatur yang digunakan, Semakin tinggi temperatur yang diberikan dan Semakin lama waktu tahan PWHT yang digunakan nilai kekerasan semakin menurun.

Hubungan Antara Struktur Mikro dan Uji Kekerasan Rockwell



Gambar 5. 14 Grafik prosentase perlit pada struktur mikro



Gambar 5. 15 Grafik kekerasan pada uji kekerasan rockwell

Dari kedua gambar grafik tersebut tentunya saling berhubungan, dimana pada grafik uji kekerasan rockwell menunjukkan semakin tinggi temperature PWHT dan waktu tahan akan menurunkan nilai kekerasan material Hal ini sejalan dengan grafik struktur mikro. Di dalam grafik tersebut menunjukkan prosentase perlit yang semakin menurun pada tiap variasi temperatur dan waktu tahan, Dimana semakin kecil prosentase perlit akan menurunkan sifat kekerasan. Jadi keduanya menunjukkan data hasil penelitian yang bisa memberikan penjelasan bahwa dalam kedua grafik pengujian tersebut sama sama menghasilkan data penelitian bahwa proses *PWHT* dapat menurunkan tingkat kekerasan material.

KESIMPULAN

Kesimpulan

1. Dari hasil uji kekerasan dengan adanya variasi temperatur dan waktu tahan *PWHT* dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur yang digunakan maka nilai kekerasan akan semakin turun. Begitu juga dengan waktu tahan yang semakin lama maka nilai kekerasan juga akan semakin turun.
2. Dari hasil analisa uji mikrostruktur. Dengan adanya variasi temperatur *PWHT* dan waktu tahan yang digunakan terjadi penurunan prosentase pada perlit dan kenaikan prosentase pada ferit pada masing - masing daerah *HAZ*, logam las dan logam induk. Dimana ini dapat menyebabkan terjadinya penurunan nilai kekerasan.
3. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa proses *PWHT* dapat berpengaruh terhadap sifat mekanik pada hasil pengelasan material khususnya baja st.41. Hal ini ditunjukkan dari data hasil pengujian rockwell (kekerasan) dimana nilai kekerasan terendah didapat pada spesimen yang diberikan perlakuan panas paling tinggi dan waktu tahan paling lama sedangkan nilai kekerasan tertinggi didapat pada spesimen yang tidak diberikan perlakuan panas.

Saran

1. Melakukan pengujian tarik dan impact pada pengujian selanjutnya untuk membahas kekuatan tarik dan ketangguhan pada hasil pengelasan yang telah dilakukan *PWHT* untuk melengkapi data sifat mekanik yang dimiliki dari hasil pengelasan baja ST 41 yang telah dilakukan *PWHT*.
2. Pada penelitian ini digunakan metode pengelasan *SMAW* sehingga kedepannya bisa dilakukan

penelitian menggunakan metode pengelasan yang lainnya untuk mengetahui pengaruh terhadap hasil pengelasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H., & Daryanto,(1999),Ilmu Bahan. Bumi Aksara, Jakarta
- An American Standard,1995."Standard Practice For Preparation of Metallographic Specimens". Jurnal E-3-95
- An American Standart, 2015. "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials". Jurnal ASTM E18-15
- Gunawan, Eddy.(2017)."Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon Rendah (ST41) Dengan Metode *Pack Carbirizing*".Sidoarjo : Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Maarif Hasyim Latif.
- Harsono Wiryosumarto & Toshie Okumura, (1988). Teknologi Pengelasan Logam, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Iswanto, Priyo Tri Himarosa, Rela Adi, (2017), Karakterisasi Sambungan SMAW Baja Karbon Rendah Menggunakan 3 Jenis Elektroda, Yogyakarta.
- Lanal Septiawan Nugroho, (2017), Pengaruh Proses *Annealing* Terhadap Perubahan Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Pipa SA 179 yang Telah Mengalami Pembengkokan, Istitut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Vlack, V., 1981, Ilmu dan Teknologi, ERLANGGA, Jakarta.
- Widharto, (1996). *Welding Inspection*, Mitra Wacana Media, Jakarta.

