



## **Analisis Pengaruh PWHT pada Pengelasan SMAW Plat Baja S45C dengan Variasi Diameter Elektroda dan Arus Pengelasan terhadap Kekerasan dan Kekuatan Impak**

**Eric Pratama Putra Suhudi, Maula Nafi**

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

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

Email : [Pratamaputra261099@gmail.com](mailto:Pratamaputra261099@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Logam kerap digunakan dalam dunia industri sebagai bahan baku produksi. Maka, untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja diperlukan perlakuan panas dan pengujian. Untuk melakukan penelitian ini disiapkan material Baja S45C kemudian pembentukan spesimen untuk pengujian kekerasan rockwell, dan impact charpy. Specimen akan dilakukan perlakuan panas pada suhu 900°C dengan media pendingin kelas kamar. Setelah itu melaksanakan pengujian kekerasan rockwell, serta Impact charpy. Dengan data pengujian Impact charpy serta hasil pengujian kekerasan rockwell mengindikasikan hasil berbanding lurus antara nilai kekerasan dan nilai kekuatan Impact maksimum. Dengan data pengujian kekerasan Rockwell dan Impact Charpy menunjukkan hasil berbanding terbalik. Dapat disimpulkan nilai tertinggi nilai kekerasan Rockwell pada bagian Weld Metal diperoleh oleh spesimen diameter elektroda 4,0 (120A) dengan nilai 55,9 HRC, dan nilai terendah diperoleh spesimen diameter elektroda 4,0 (80A) dengan nilai 47,2 HRC. Dari data pengujian Impact nilai Harga Impak tertinggi diperoleh spesimen dengan diameter elektroda 4,0 (80A) dengan nilai 0,072 J/mm<sup>2</sup> sedangkan nilai terendah didapatkan oleh spesimen diameter elektroda 4,0 (120A) dengan nilai 0,012 J/mm<sup>2</sup>

**Kata kunci :** Perlakuan panas, Normalizing, Baja S45C, Rockwell.

### **ABSTRACT**

Metal is often used in the industrial world as a raw material for production. So, to increase the strength and hardness of steel, heat treatment and testing are needed. To carry out this research, prepare S45C steel material and then form specimens for testing rockwell hardness and charpy impact. The specimens will be heat treated at 900°C with room temperature cooling media. After that, carry out Rockwell hardness testing and Charpy impact. By testing Charpy Impact data and Rockwell hardness test results show that the results are directly proportional between the hardness value and the maximum impact strength value. Rockwell and Impact Charpy hardness test data show inversely proportional results. It can be concluded that the highest Rockwell hardness value for the Weld Metal part was obtained by the electrode diameter 4.0 (120A) specimen with a value of 55.9 HRC, and the lowest value was obtained by the electrode diameter 4.0 (80A) specimen with a value of 47.2 HRC. From testing data, the highest Impact Price Impact Value was obtained by the specimen with an electrode diameter of 4.0 (80A) with a value of 0.072 J/mm<sup>2</sup> while the lowest value was obtained by a specimen with an electrode diameter of 4.0 (120A) with a value of 0.012 J/mm<sup>2</sup>

**Kata kunci :** Heat treatment, Normalizing, S45C Steel, Rockwell

## PENDAHULUAN

Dalam dunia industri, material Baja S45C banyak digunakan untuk bahan komponen-komponen mesin, baik komponen transmisi, atau komponen konstruksi yang lain pada konstruksi permesinan atau mesin perkakas. Baja karbon medium ini biasa dikenakan buat komponen ataupun sparepart seperti roda gigi, coupling, pully, axles, rails. Baja karbon ataupun Material S45C sangat sering dipakai selain harganya yang lebih murah dan mudah didapat dibandingkan dengan bahan ataupun material yang lainnya. Pengelasan (welding) adalah proses penyambungan logam dengan cara melebur bagian logam dasar dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu. Proses las SMAW atau sering disebut las busur ialah proses las yang memakai panas buat melelehkan bahan dasar serta elektroda. Kalor dihasilkan oleh lonjakan ion listrik antara katoda serta anoda (ujung elektroda serta permukaan pelat yang bakal dilas. Untuk mendapatkan hasil proses pengelasan listrik dengan kualitas baik perlu adanya perencanaan pemilihan jenis sambungan (Kampuh Las). Berikut merupakan macam – macam bentuk geometri sambungan pada proses pengelasan. Kawat elektroda atau pengisi adalah benda yang digunakan dalam pengelasan busur yang bertindak sebagai obor yang menciptakan busur api. Dalam pengelasan, ukuran diameter elektroda memiliki pengaruh penting terhadap besar arus las listrik yang tepat buat dipakai. Semakin kecil diameter elektroda yang dipakai, maka ampere yang dipakai juga semakin kecil. Sebaliknya jika diameter kawat las yang dipakai semakin besar, maka arus yang dipakai juga semakin besar. Sambungan pipa las menciptakan efek pemanasan lokal temperatur tinggi,

mengakibatkan peluasan termal ataupun penyusutan saat pipa mendingin. Perihal ini mengakibatkan tegangan sisa, perubahan struktur mikro serta kekerasan tinggi di wilayah yang terkena kalor (HAZ). Tegangan sisa pengelasan bisa mengakibatkan retak pada lapisan las, serta membahayakan konstruksi yang dilas bila menerima beban. Metode yang umum dipakai buat menghilangkan tegangan sisa yaitu cara termal melalui proses Post Weld Heat Treatment (PWHT).

## PROSEDUR EKSPERIMEN

### *Pembentukan Spesimen*

Setelah melakukan beberapa langkah/usaha mencari bahan untuk melengkapi proses penelitian, peneliti melakukan pemotongan/pembentukan spesimen berdasarkan standar yang berlaku untuk pengujian spesimen. Dalam penelitian ini kita perlu membentuk spesimen untuk pengujian Impact Charpy dan pengujian kekerasan Rockwell.



Gambar 1. Pembentukan spesimen untuk pengujian rockwell dan Impak

### *Perlakuan Panas*

Suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuannya untuk

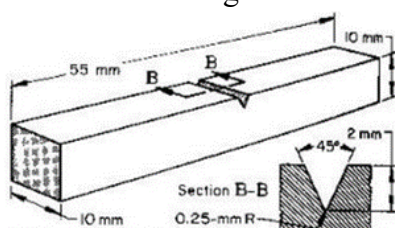
menghasilkan sifat – sifat logam yang diinginkan. Dalam penelitian kali ini peneliti menggunakan perlakuan panas berupa Normalizing.



Gambar 2. Spesimen yang dikenai perlakuan panas

### Pengujian Impact Charpy

Untuk dapat mengetahui sifat mekanik dari suatu material maka diperlukan suatu pengujian, salah satu pengujian yang paling sering dilakukan yaitu uji Impact Charpy. Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui tingkat kekuatan suatu material dan untuk mengenali karakteristik pada material tersebut. Pada uji Impact Charpy, dimana specimen diletakkan horizontal lalu diberi beban kejut sebesar P. Cara izod, specimen diletakkan vertical lalu ditumbuk dengan beban sebesar P.

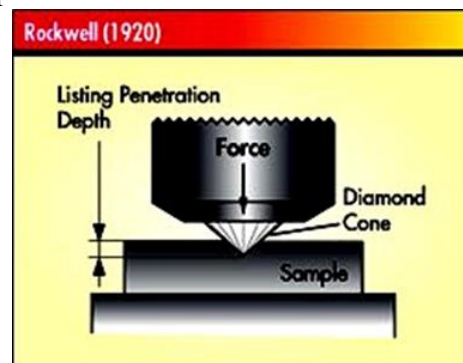


Gambar 3. Bentuk dan dimensi Spesimen Pengujian Kekerasan Rockwell

### Pengujian Kekerasan Rockwell

Uji kekerasan ialah pengujian yang paling efektif buat menguji kekerasan dari suatu material, sebab dengan pengujian ini kita bisa dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada suatu titik, ataupun wilayah tertentu saja, nilai

kekerasan cukup valid buat menyatakan kekuatan suatu material. Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indenter berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Pengujian kekerasan Rockwell dilaksanakan dengan cara menekan permukaan sampel dengan suatu indenter. Penekanan indenter ke dalam benda uji dilakukan dengan menerapkan beban pendahuluan (beban minor), kemudian ditambah dengan beban utama (beban mayor), lalu beban utama dilepaskan sedangkan beban minor masih dipertahankan.

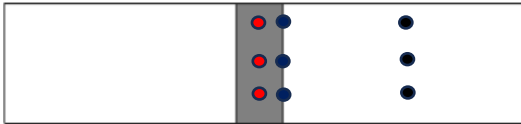


Gambar 4. Pengujian kekerasan dengan metoda Rockwell.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell

Material baja S45C tanpa perlakuan apapun (raw material) maupun yang telah melalui proses perlakuan kalor Normalizing di 900° pendinginan yaitu temperatur ruang, bakal dilakukan pengujian kekerasan rockwell pada beberapa titik buat mengetahui angka kekerasannya.



Gambar 5. Titik pengambilan data uji kekerasan Rockwell.

Material baja S45C dikenai beban 150kg pada 9 titik tersebut dengan bagian – bagian yang berbeda yaitu pada bagian Base Metal, HAZ, dan Weld Metal.

Hasil dari pengujian Kekerasan Rockwell, hasilnya sebagai berikut:

Tabel 1. Data Uji Kekerasan Spesimen Tanpa Pengelasan

Spesimen	Titik	Beban (Kg)	Indentor	Daerah Pengamatan	Kekerasan (HRC)	Rata-rata (HRC)
Tanpa Perlakuan	C1	150 Kg	Diamond Cone	Base Metal	58	56,5
	C2				55	
	C3				56,5	

Nilai rata-rata kekerasan Base Metal :  $\frac{58+55+56,5}{3} = 56,5$

Rata-rata nilai kekerasan pada spesimen tanpa pengelasan adalah 56,5 HRC

Nilai kekerasan terendah dari semua spesimen pengelasan diperoleh pada spesimen yang menggunakan diameter elektroda 4,0 mm dengan arus 80 Ampere. Datanya sebagai berikut:

Tabel 2. Data Uji Kekerasan Spesimen Pengelasan Diameter Elektroda 4,0 mm (80A)

Spesimen	Titik	Beban (Kg)	Indentor	Daerah Pengamatan	Kekerasan (HRC)	Rata-rata (HRC)
Diameter Elektroda 4,0 (80A)	A1	150 Kg	Diamond Cone	Base Metal	54	55,6
	A2				56	
	A3				57	
	B1			HAZ	50	51,3
	B2				53	
	B3				51	
	C1			Weld Metal	48	47,2
	C2				45	
	C3				48,5	

Nilai rata-rata kekerasan Base Metal :  $\frac{54+56+57}{3} = 55,6$

Nilai rata-rata kekerasan HAZ :  $\frac{50+53+51}{3} = 51,3$

Nilai rata-rata kekerasan Weld Metal :  $\frac{48+45+48,5}{3} = 47,2$

Rata-rata nilai kekerasan terendah dari semua spesimen pengelasan pada daerah Weld Metal adalah spesimen yang menggunakan diameter elektroda 4,0 mm dengan arus 80 Ampere dengan nilai 47,2 HRC.

Sedangkan nilai kekerasan tertinggi dari semua spesimen pengelasan daerah Weld Metal diperoleh pada spesimen yang menggunakan diameter elektroda 4,0 mm dengan arus 120 Ampere. Datanya sebagai berikut:

Tabel 3. Data Uji Kekerasan Spesimen Pengelasan Diameter Elektroda 4,0 mm (120A)

Spesimen	Titik	Beban (Kg)	Indentor	Daerah Pengamatan	Kekerasan (HRC)	Rata-rata (HRC)
Diameter Elektroda 4,0 (120A)	A1	150 Kg	Diamond Cone	Base Metal	56	56
	A2				55	
	A3				57	
	B1			HAZ	54	56
	B2				58	
	B3				56	
	C1			Weld Metal	57	55,9
	C2				55,5	
	C3				55	

Nilai rata-rata kekerasan Base Metal :  $\frac{56+55+57}{3} = 56$

Nilai rata-rata kekerasan HAZ :

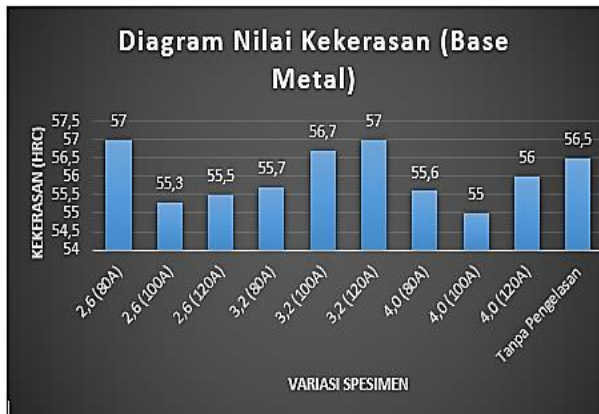
$$\frac{54+58+56}{3} = 56$$

Nilai rata-rata kekerasan Weld Metal :

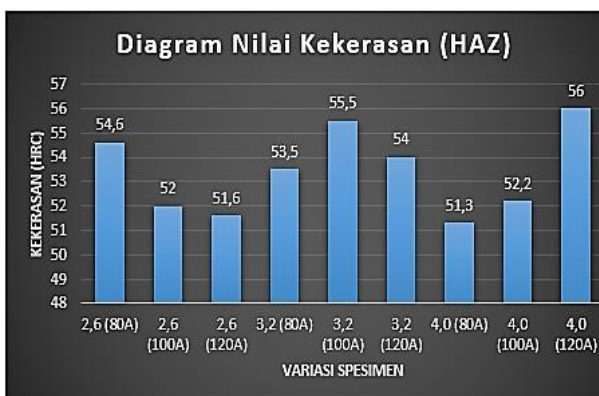
$$\frac{57+55,5+55}{3} = 55,9$$

Rata – rata nilai kekerasan tertinggi dari semua spesimen pada daerah Weld Metal adalah spesimen yang menggunakan diameter elektroda 4,0 mm dengan arus 120 Ampere dengan nilai 55,9 HRC.

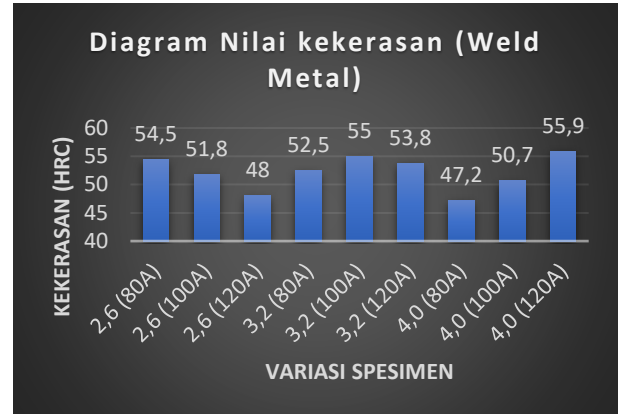
Berdasarkan tabel perhitungan nilai rata-rata kerasan, maka dapat dibuat diagram nilai kekerasan sebagai berikut :



Gambar 6. Diagram Nilai Kekerasan HRC pada Base Metal.



Gambar 7. Diagram Nilai Kekerasan HRC pada HAZ.



Gambar 8. Diagram Nilai Kekerasan HRC pada Weld Metal.

Pada gambar 6 diketahui nilai kekerasan tertinggi Base Metal didapatkan pada spesimen dengan variasi diameter elektroda didapatkan pada sampel dengan variasi diameter elektroda dengan dengan arus 2,6 mm (80A) dan 3,2 (120A) yaitu 57 HRC, sedangkan nilai kekerasan terendah pada arus 4,0 (100A) yaitu 55 HRC.

Pada gambar 7 diketahui nilai kekerasan tertinggi HAZ didapatkan pada spesimen dengan variasi diameter elektroda dengan arus 4,0 (120A) yaitu 56 HRC, sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan pada spesimen dengan variasi diameter elektroda dengan arus 4,0 (80A) yaitu 51,3 HRC.

Pada gambar 8. diketahui nilai kekerasan tertinggi Weld Metal didapatkan pada spesimen dengan variasi diameter elektroda dengan arus 4,0 (120A) yaitu 55,9 HRC, sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan pada spesimen dengan variasi diameter elektroda dengan arus 4,0 (80A) yaitu 47,2 HRC.

Dari gambar 7 dan 8 menunjukkan bahwa nilai kekerasan HAZ dan Weld Metal berbanding lurus. Nilai kekerasan HAZ dan Weld Metal tertinggi didapatkan pada spesimen 4,0 mm (120A) dikarenakan besar arus yang diberikan pada elektroda sesuai standar, sehingga

hasil pengelasan menjadi kuat dan stabil. Sedangkan nilai kekerasan terendah HAZ dan Weld Metal terendah didapatkan pada spesimen 4,0 mm (80A) dikarenakan arus yang diberikan terlalu rendah sehingga mengakibatkan sukarnya penyalaan busur listrik serta busur yang terjadi bakal tak konstan. Perihal ini diakibatkan kalor yang terjadi tak cukup buat melelehkan elektroda sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang tak merata. Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan dan diameter elektroda (Febri Riyan, 2017).

*Hasil Pengujian Impak Charpy*

Pada pengujian Impak Charpy material Plat Baja S45C dengan Metode Pengelasan SMAW (Shield Metal Arc Welding) dengan Variasi Diameter Elektroda (2,6 mm), (3,2 mm), (4,0) dan Arus pengelasan 80A, 100A, 120A. Spesimen juga sudah dikenai perlakuan panas Normalizing pada suhu 900°C, hasil dari pengujian ketangguhan impak berupa Energi (E) dalam Satuan joule serta Harga impak (HI) dalam satuan J/mm<sup>2</sup>.

Hasil dari pengujian Impak Charpy, hasilnya sebagai berikut:

No	Spesimen	Berat Pendulum (kg)	Panjang Pendulum	Sudut (a)	Sudut (B)
1	Diameter Elektroda 2,6 mm (80A)	26,08	0,75	110	105
2	Diameter Elektroda 2,6 mm (100A)	26,08	0,75	110	101
3	Diameter Elektroda 2,6 mm (120)	26,08	0,75	110	94
4	Diameter Elektroda 3,2 mm (80)	26,08	0,75	110	96
5	Diameter Elektroda 3,2 mm (100)	26,08	0,75	110	100
6	Diameter Elektroda 3,2 mm (120)	26,08	0,75	110	97
7	Diameter Elektroda 4,0 mm (80A)	26,08	0,75	110	92
8	Diameter Elektroda 4,0 mm (100A)	26,08	0,75	110	103
9	Diameter Elektroda 4,0 mm (120A)	26,08	0,75	110	107
10	Tanpa Pengelasan	26,08	0,75	110	108

Untuk mencari nilai Energi (E) dan Harga Impak (HI) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Perhitungan Spesimen Tanpa Pengelasan

$$E = W \times l (\cos a_2 - \cos a_1)$$

$$= 26,08 \times 0,75 (\cos 108^\circ - \cos 110^\circ)$$

$$= 0,645 \text{ J}$$

$$HI = \frac{E}{A} = \frac{0,645}{80} = 0,008 \text{ J/mm}^2$$

Harga Impak yang didapatkan pada spesimen tanpa pengelasan adalah 0,008 J/mm<sup>2</sup>.

Spesimen pengelasan yang memiliki harga impak terendah didapatkan pada spesimen yang menggunakan diameter elektroda 4,0 mm dengan arus 120 Ampere.

Perhitungan Variasi Diameter Elektroda 4,0 mm (120A)

$$E = W \times l (\cos a_2 - \cos a_1)$$

$$= 26,08 \times 0,75 (\cos 107^\circ - \cos 110^\circ)$$

$$= 0,97 \text{ J}$$

$$HI = \frac{E}{A} = \frac{0,97}{80} = 0,012 \text{ J/mm}^2$$

Harga Impak yang didapatkan pada spesimen pengelasan dengan diameter elektroda 4,0 mm dengan arus 120 Amepere adalah  $0,012 \text{ J/mm}^2$ .

Sedangkan spesimen pengelasan yang memiliki harga impact tertinggi didapatkan pada spesimen yang menggunakan diameter elektroda 4,0 mm dengan arus 80 Ampere.

Perhitungan Variasi Diameter Elektroda 4,0 mm (80A)

$$E = W \times l (\cos a_2 - \cos a_1)$$

$$= 26,08 \times 0,75 (\cos 92^\circ - \cos 110^\circ)$$

$$= 5,76 \text{ J}$$

$$HI = \frac{E}{A} = \frac{5,76}{80} = 0,072 \text{ J/mm}^2$$

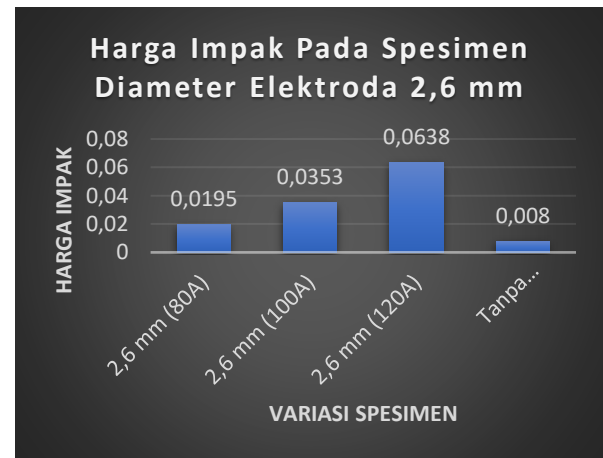
Harga Impact yang didapatkan pada spesimen pengelasan dengan diameter elektroda 4,0 mm dengan arus 80 Ampere adalah  $0,072 \text{ J/mm}^2$ .

Dari hasil perhitungan Energi dan Harga Impact maka bisa dibuat tabel sebagai berikut:

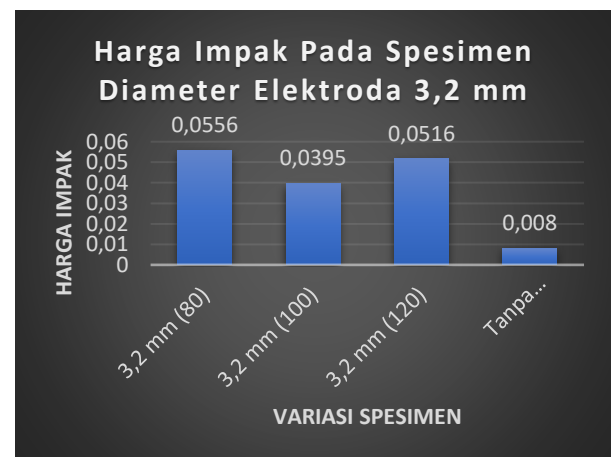
Tabel 4. Data Hasil Perhitungan Energi dan Harga Impact.

No	Spesimen	Berat Pendulum (kg)	Panjang Pendulum	Sudut (a)	Sudut (B)	Energi (J)	Harga Impact (HI)
1	Diameter Elektroda 2,6 mm (80A)	26,08	0,75	110	105	1,56	0,0195
2	Diameter Elektroda 2,6 mm (100A)	26,08	0,75	110	101	2,83	0,0353
3	Diameter Elektroda 2,6 mm (120)	26,08	0,75	110	96	5,11	0,0638
4	Diameter Elektroda 3,2 mm (80)	26,08	0,75	110	94	4,45	0,0556
5	Diameter Elektroda 3,2 mm (100)	26,08	0,75	110	100	3,16	0,0395
6	Diameter Elektroda 3,2 mm (120)	26,08	0,75	110	97	4,13	0,0516
7	Diameter Elektroda 4,0 mm (80A)	26,08	0,75	110	92	5,76	0,072
8	Diameter Elektroda 4,0 mm (100A)	26,08	0,75	110	103	2,19	0,0273
9	Diameter Elektroda 4,0 mm (120A)	26,08	0,75	110	107	0,97	0,012
10	Tanpa Pengelasan	26,08	0,75	110	108	0,645	0,008

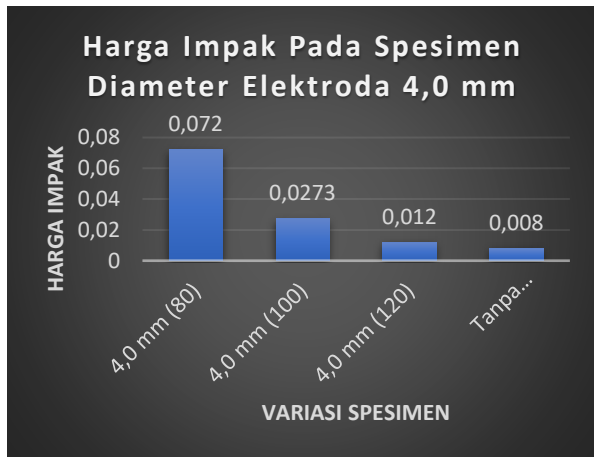
Berdasarkan tabel perhitungan Harga Impact Charpy, maka dapat dibuat diagram nilai kekerasan sebagai berikut :



Gambar 9. Diagram Harga Impact Pada Spesimen Diameter Elektroda 2,6 mm

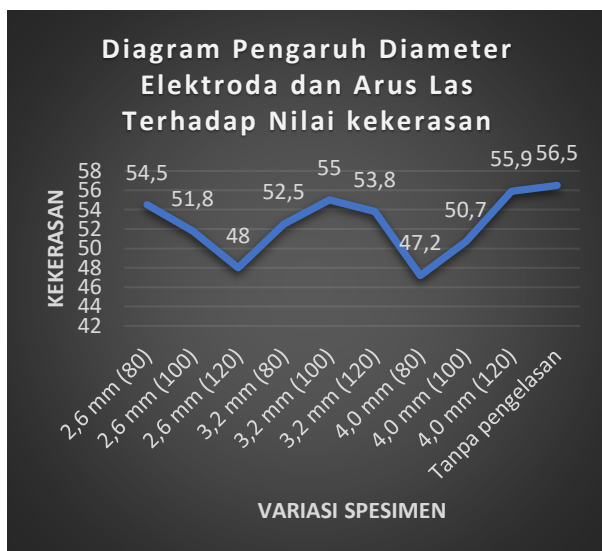


Gambar 10. Diagram Harga Impact Pada Spesimen Diameter Elektroda 3,2 mm

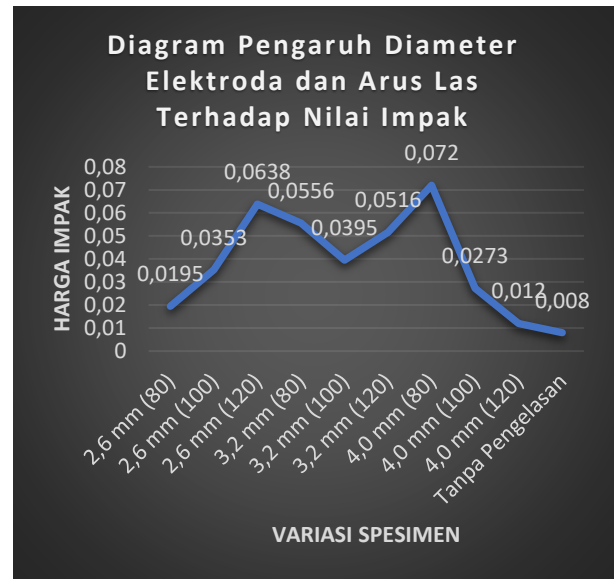


Gambar 11. Diagram Harga Impak Pada Spesimen Diameter Elektroda 4,0 mm

Setelah melakukan pengujian Kekerasan Rockwell dan Impak Charpy pada semua spesimen, maka dapat dibuat grafik Hubungan Pengaruh Variasi Diameter Elektroda serta Arus Pengelasan Terhadap Hasil Pengujian Kekerasan serta Impak.



Gambar 12. Diagram Pengaruh Variasi Terhadap Nilai Kekerasan



Gambar 13. Diagram Pengaruh Variasi Terhadap Harga Impak

Proses pengelasan dengan variasi diameter elektroda dan arus las berpengaruh terhadap angka kekerasan serta impak pada hasil pengelasan baja S45C. Dari hasil pengujian kekerasan serta harga impak antara sampel variasi pengelasan dengan sampel tanpa pengelasan. Spesimen variasi pengelasan memiliki nilai kekerasan yang tidak merata di setiap variasi spesimen dan memiliki harga impak yang rendah, sedangkan spesimen tanpa pengelasan memiliki nilai kekerasan yang besar serta distribusi kekerasan yang merata dan harga impak yang rendah.

Pada gambar 10 dan 11 menunjukkan bahwa ada hubungan berbanding terbalik antara nilai kekerasan dengan harga impak. Semakin tinggi nilai kekerasan yang didapat maka semakin rendah nilai impak yang dihasilkan. Dari gambar 4.5 serta 4.6 menunjukkan bahwa pemberian besar arus las yang sesuai dengan diameter elektroda akan mempengaruhi peningkatan nilai kekerasan dan pertumbuhan harga impak yang



berakibat pada meningkatnya sifat ketangguhan pada spesimen, dimana semakin tinggi nilai kekerasan dan semakin kecil harga impak maka spesimen akan cenderung bersifat tangguh.

Dari gambar 10 dan 11 bertujuan untuk mencari variasi pengelasan yang mendapatkan hasil paling optimal diantara seluruh variasi spesimen pengelasan. Hasil variasi spesimen pengelasan yang paling optimal yaitu pada variasi diameter elektroda 4,0 mm dengan arus las 120 ampere, karena memiliki nilai kekerasan 55,9 HRC dan harga impak 0,012 J/mm<sup>2</sup>.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Proses pengelasan dengan variasi diameter elektroda dan arus yang berbeda dapat berpengaruh terhadap sifat mekanik pada material Plat Baja Karbon S45C. Hal ini ditunjukkan pada hasil pengujian kekerasan dan impak. Nilai kekerasan tertinggi dan nilai impak terendah didapatkan pada spesimen dengan diameter elektroda dan arus las yang sesuai standar sehingga membuat spesimen memiliki sifat yang tangguh.

2. Dari hasil pengujian kekerasan dan impak menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kekerasan spesimen maka harga impak yang didapatkan semakin rendah, begitupun sebaliknya jika semakin rendah nilai kekerasan spesimen maka semakin tinggi harga impak yang didapatkan. Dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan dan harga impak memiliki hubungan yang berbanding terbalik

### Saran

1. Sebelum melakukan proses pengelasan SMAW (Shield Metal Arc Weld), pastikan besar arus las yang diberikan sesuai standar

berdasarkan diameter elektroda yang digunakan.

2. Dalam proses pengujian spesimen, pastikan dengan tepat daerah yang akan diuji pada spesimen agar nilai kekerasan dan harga impak yang didapatkan akurat.

## REFERENSI

- Alim, A.S., 2016. *ANALISA VARIASI ARUS DAN JENIS ELEKTRODA TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL PENGELASAN SMAW BAJA KOMERSIAL* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945).
- Azwinur, A., Ismy, A.S., Nanda, R. and Ferdiansyah, F., 2020. Pengaruh arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan sambungan las double lap joint pada material AISI 1050. *Journal of Welding Technology*, 2(1), pp.1-7.
- Pratama, G.Y. and Yunus, Y., 2022. PENGARUH POST WELD HEAT TREATMENT (PWHT) DENGAN VARIASI MEDIA PENDINGINAN HASIL PENGELASAN SMAW PADA PIPA KILANG ASTM A 106 GRADE B TERHADAP KEKUATAN BENDING DAN STRUKTUR MIKRO. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(03), pp.69-76.
- Riyan, F., 2017. Pengaruh Jenis Elektroda Dan Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Pada Pengelasan Baja St 41 Menggunakan Las Smaw. Kediri: Universitas Nusantara PGRI Kediri.

- Arifin, J., Purwanto, H. and Syafa'at, I., 2017. Pengaruh jenis elektroda terhadap sifat mekanik hasil pengelasan smaw baja ASTM A36. *Majalah Ilmiah MOMENTUM*, 13(1).
- Nugraha, Y.D.P., 2016. Pengaruh Proses Post Weld Heat Treatment (PWHT) pada Pengelasan Material Paduan Super Berbasis Nikel dengan Metode Tungsten Inert Gas (TIG) terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro.
- Setiawan, H., 2012. Pengaruh Proses Heat Treatment Pada Kekerasan Material Special K (K100). *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 2(1), pp.37-47.
- Safrijal, S. and Ali, S., 2017. Pengujian Papan Komposit Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Dengan Menggunakan Alat Uji Impact Charpy. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, 3(1).
- Kurniawan, I., Budiarto, U. and Mulyatno, I.P., 2019. Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Uji Metalografi Baja S45C Sebagai Bahan Poros Baling-Baling Kapal (Propellr Shaft) Setelah Proses Tempering. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4).
- Arsyad, Z.I., 2019. Pengaruh Variasi Rapat Arus Dan Elektroda Dari Pengelasan Smaw Pada Material Astm A213 Terhadap Struktur Mikro Dan Distribusi Kekerasan Hasil Pengelasan (Doctoral dissertation, Universitas Pasundan).
- Muliadi, D., Ridho, R. and Marpaung, C.P., 2018. Pengaruh Kuat Arus terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Sambungan Las Smaw Baja Sa 516 Gr. 70. *Mekanik*, 4(2), p.329177