

## Studi Pengaruh *Heat Input* Terhadap Kekuatan Lengkung (*Bending*) dan Ketangguhan (*Impact*) Sambungan Las SMAW Pada Pipa Baja

Alfin Sution<sup>\*</sup>, Wartono<sup>2</sup>, Yohanes Agus Jayatun<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional  
Yogyakarta

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

\*Corresponding author: [wartono@itny.ac.id](mailto:wartono@itny.ac.id).

### Abstract

*Shielded Metal Arc Welding (SMAW) is often used in the welding industry because it produces strong and long-lasting joints. However, different heat input parameters can affect the quality of the resulting welded joint. This research aims to examine the effect of heat input on the bending strength and impact toughness of SMAW welded joints in steel pipes. This research uses steel pipes with a thickness of 7 mm x a length of 100 mm x a diameter of 170 mm. Steel pipes are welded with heat input variations of 780 J/mm, 804.3 J/mm and 764.7 J/mm. The largest impact toughness test results were on weld metal specimens with a value of 780 J/mm which had an impact value of 1,682 J/mm. Bending test results on raw material and weld metal specimens with variations of 780 J/mm, 804.3 J/mm and 764.7 J/mm, the highest bending stress value on the raw material specimen was 1578.04 MPa, while on the weld specimen metal with 780 J/mm has a bending stress value of 1372.58 MPa, at 804.3 J/mm it has a bending stress value of 1233.70 MPa and at 764.7 J/mm it has a bending stress value of 1321.68 MPa.*

**Keywords:** Heat input, SMAW, pipa baja, uji bending, uji impact.

### Abstrak

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) sering digunakan dalam industri pengelasan karena kemampuannya untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama. Namun, parameter heat input yang berbeda dapat mempengaruhi kualitas sambungan las yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh heat input terhadap kekuatan lengkung (*bending*) dan ketangguhan (*impact*) sambungan las SMAW pada pipa baja. Penelitian ini menggunakan pipa baja dengan tebal 7 mm x panjang 100 mm x diameter 170 mm. Pipa baja dilas dengan variasi heat input 780 J/mm, 804,3 J/mm dan 764,7 J/mm. Hasil pengujian ketangguhan impact terbesar pada spesimen weld metal dengan nilai 780 J/mm yang memiliki harga impact sebesar 1,682 J/mm. Hasil pengujian lengkung (*bending*) pada spesimen raw material dan weld metal dengan variasi 780 J/mm, 804,3 J/mm dan 764,7 J/mm, harga tegangan lengkung tertinggi pada spesimen raw material sebesar 1578.04 MPa, sedangkan pada spesimen weld metal dengan 780 J/mm memiliki harga tegangan lengkung sebesar 1372.58 MPa, pada 804,3 J/mm memiliki harga tegangan lengkung sebesar 1233,70 MPa dan pada 764,7 J/mm memiliki harga tegangan lengkung sebesar 1321,68 MPa.

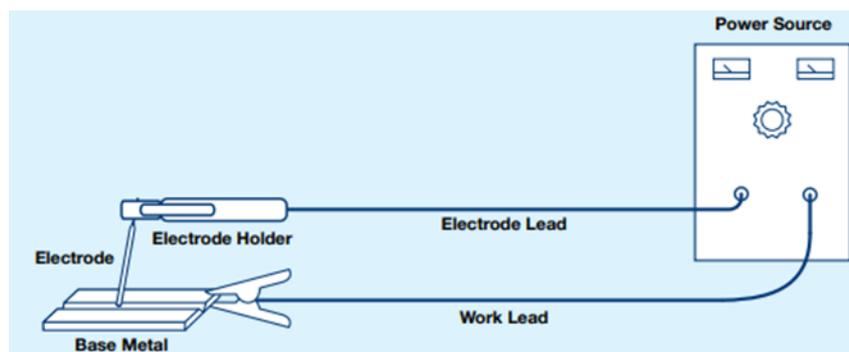
**Kata kunci:** Heat input, SMAW, pipa baja, uji bending, uji impact.

## PENDAHULUAN

Di era ini, kemajuan teknologi semakin meluas ke berbagai sektor, terutama dalam industri konstruksi. Pengelasan menjadi elemen integral dalam konstruksi karena berperan vital dalam perbaikan dan rekayasa logam. Konstruksi logam seringkali memerlukan penyambungan atau pengelasan untuk membentuk struktur yang kokoh. Proses pengelasan secara teknis membutuhkan keterampilan dan pengetahuan yang mendalam untuk menghasilkan hasil yang memuaskan. Banyak upaya dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dalam teknik pengelasan [1]. Teknik pengelasan digunakan luas dalam industri konstruksi seperti otomotif, perkapalan, penerbangan, transportasi rel, konstruksi jembatan, pipa, dan lainnya. Pengelasan adalah proses penyambungan logam dengan memanaskan di atas atau di bawah batas cair logam, sering kali menggunakan logam pengisi. [2]. Pengetahuan tentang material dan proses pengelasan sangat penting untuk mencapai hasil yang optimal. Salah satu teknik pengelasan yang umum adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), di mana elektroda dilapisi dengan fluks.

Pemanasan dari busur listrik antara elektroda dan benda kerja menyebabkan pencairan logam, yang mengisi celah atau permukaan benda kerja. Beberapa faktor memengaruhi hasil pengelasan, termasuk heat input. Pengaturan Heat input melalui arus, voltase, dan kecepatan pengelasan sangat krusial. Pengaturan yang tidak tepat dapat memengaruhi komposisi, struktur mikro, kekuatan (*bending*) dan ketangguhan (*impact*) kekerasan hasil pengelasan [3]. Oleh karena itu, penelitian tentang pengaruh Heat input terhadap komposisi, struktur mikro, kekuatan (*bending*), dan ketangguhan (*impact*) pada daerah logam las baja karbon dengan menggunakan las SMAW menjadi topik penelitian yang menarik. Pengujian komposisi bahan, struktur mikro, kekuatan (*bending*) dan ketangguhan (*impact*) diperlukan untuk mengevaluasi hasil pengelasan [4].

SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), atau las busur logam terlindung, merupakan metode pengelasan busur listrik di mana panas untuk proses pengelasan dihasilkan dari busur listrik yang terbentuk antara elektroda logam yang terbungkus dan benda kerja. Logam pengisi dalam elektroda dilindungi oleh slag, yang melindungi logam las selama proses pengelasan. Proses SMAW juga dikenal dengan sebutan las MMA (*Manual Metal Arc*) atau stick welding [5].



**Gambar 1.** Rangkaian las *shielded metal arc welding*

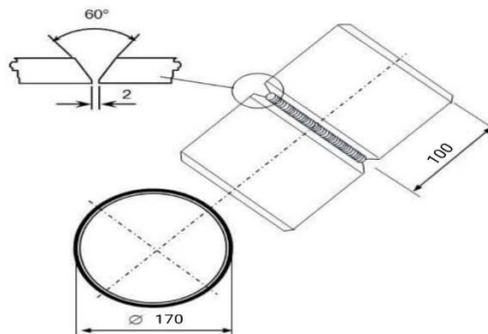
SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah metode pengelasan yang sangat umum digunakan saat ini. Dalam metode ini, kawat elektroda logam yang dilapisi fluks digunakan, dan busur listrik terbentuk antara logam induk dan ujung elektroda. Panas dari busur ini menyebabkan logam induk dan ujung elektroda mencair dan kemudian membeku bersama. Keunggulan dari SMAW adalah kesederhanaan operasionalnya, yang memungkinkan

penggunaannya di berbagai lokasi dan dengan biaya investasi yang rendah. [6]. Untuk menyambung dua komponen logam, berbagai jenis kampuh sambungan dapat digunakan, salah satunya adalah kampuh V (*V groove*). Kampuh V sering diterapkan pada sambungan plat atau pipa tebal. Pengelasan dengan sudut kampuh V dapat dilakukan dari satu sisi (*single side*), yang mencakup proses mulai dari akar (*root*), pengisian (*filler*), hingga penutup (*caping*). [7].

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah pipa baja dengan ukuran diameter 170 mm, panjang 100 mm dan tebal 7 mm, elektroda RD-460 E-6013 ukuran 2,6 mm dan 3,2 mm, mesin las, gerinda, tang, kacamata alas, sarung tangan, Stopwatch, amplas, resin, katalis, mesin uji komposisi, mesin uji impact dan mesin uji bending.



**Gambar 2.** Pipa dengan kampuh V 60.

### Jumlah Spesimen

Penelitian yang dilakukan menggunakan variasi heat input dilas dengan menggunakan arus 80A, 90A dan 100A kemudian masing-masing arus dilakukan pengujian spesimen dengan perincian sebagai berikut:

**Tabel 1.** Rincian spesimen yang digunakan

No	Sampel	Jumlah	Keterangan
1	Uji Komposisi	2	Spesimen <i>raw material</i> dan <i>weld material</i> .
2	Uji Struktur Mikro	4	Spesimen <i>raw material</i> dan 1 buah spesimen <i>weld material</i> pada variasi <i>heat input</i> 1,2 dan 3
3	Uji <i>Impact</i>	11	Spesimen <i>Raw material</i> 2 buah spesimen <i>weld material</i> 3 buah pada variasi <i>heat input</i> 780 j/mm. 804,3 j/mm.764 j/mm
4	Uji <i>Bending</i>	11	Spesimen <i>Raw material</i> 2 buah spesimen spesimen <i>weld material</i> 3 buah spesimen variasi <i>heat input</i> 780j/mm.804,3 j/mm.764 j/mm.

### Heat Input

Masukan panas (*heat input*) merupakan energi panas yang terjadi selama proses pengelasan berlangsung. Pencairan logam induk dan logam pengisi memerlukan energi yang cukup dan energi yang dihasilkan tersebut tergantung dari proses pengelasannya. Setelah

proses pengelasan maka diketahui heat input pada variasi 1, 2 dan 3 dengan perhitungan menggunakan rumus berikut [7]:

Heat Input dengan variasi 80 A

$$Q = \frac{yEI}{v}$$

$$= \frac{0,65 \times 24V \times 80A}{1,6 \text{ mm/s}} = 780 \text{ J/mm}$$

Perhitungan v:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{533,8}{330} = 1,6 \text{ mm/s}$$

Dimana :

Q = Heat Input (Joule/mm)  
 y = Transfer Efisiensi  
 E = Tegangan Listrik (Volt)  
 I = Arus Listrik (Ampere)

v = Kecepatan Pengelasan (mm/s)  
 s = Panjang daerah las (mm)  
 t = Waktu pengelasan (Second)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia pada pelat baja karbon dilakukan sebanyak dua kali yaitu pada raw material dan weld metal. Setelah dilakukan pengujian komposisi kimia tersebut maka didapatkan unsur-unsur di dalam pipa baja karbon sebagai berikut.

**Tabel 2** Data Hasil Pengujian Komposisi

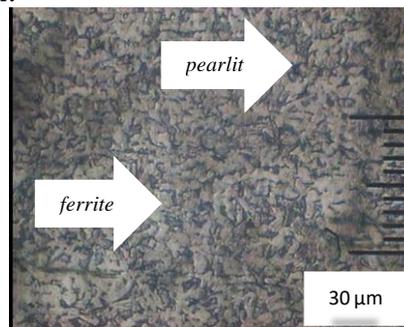
No	Unsur	Keterangan	Presentase (%)	
			Raw material	Weld metal
1	<b>Fe</b>	<b>Besi</b>	<b>98,7991</b>	<b>98,8185</b>
2	<b>Mn</b>	<b>Mangan</b>	<b>0,8489</b>	<b>0,8432</b>
3	<b>C</b>	<b>Karbon</b>	<b>0,1600</b>	<b>0,1717</b>
4	<b>Si</b>	<b>Silikon</b>	<b>0,0160</b>	<b>0,0174</b>
5	S	Sulfur	0,0160	0,0174
6	Al	Alumunium	0,0402	0,0369
7	Ni	Nikel	0,0071	0,0080
8	Nb	Niobium	-0,0003	0,0006
9	Cr	Kromium	0,0154	0,0154
10	V	Vanadium	0,0001	0,0001
11	Mo	Molybdenum	-0,0021	-0,0020
12	W	Wolfram	0,0001	0,0001
13	P	Phosphor	0,0188	0,0206
14	Cu	Tembaga	0,0120	0,0133
15	Ti	Titanium	0,0012	0,0013
16	N	Nitrogen	0,0612	0,0289
17	B	Boron	0,0001	0,0002
18	Pb	Plumbum	0,0001	0,0001

Berdasarkan tabel 2 hasil pengujian komposisi kimia dapat diketahui bahwa raw material mengandung kadar ferro (Fe) sebesar 98,7991 %, carbon (C) sebesar 0,1600 %, silicon (Si) sebesar 0,0160 % dan mangan (Mn) sebesar 0,8489 %. Kandungan kadar carbon (C) sebesar

0,1600 % pada raw material menunjukkan bahwa spesimen merupakan baja karbon rendah dalam kelas baja lunak, yang mana golongan beja karbon rendah dalam kelas baja lunak memiliki kadar karbon 0,12 – 0,20 %. Pada weld metal hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa kadar kandungan ferro (Fe) sebesar 98,8185 %, carbon (C) sebesar 0,1717 %, silicon (Si) sebesar 0,0174 % dan mangan (Mn) sebesar 0,8432 %. Perubahan unsur-unsur pada weld metal terjadi karena pengaruh panas pada saat proses pengelasan dan mencairnya bahan tambah (filler) bersamaan dengan logam inti yang menyebabkan tercampurnya bahan tambah dan logam inti menjadi satu.

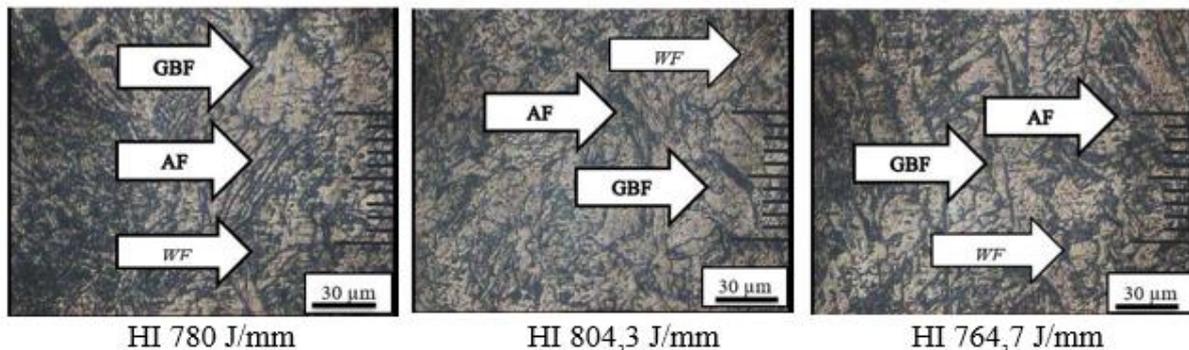
### Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan pada raw material, daerah weld metal, HAZ (*Heat Affected Zone*) dan logam induk (*base metal*). Analisis struktur mikro dilihat dari hasil foto mikroskop optic dengan pembesaran 100x.



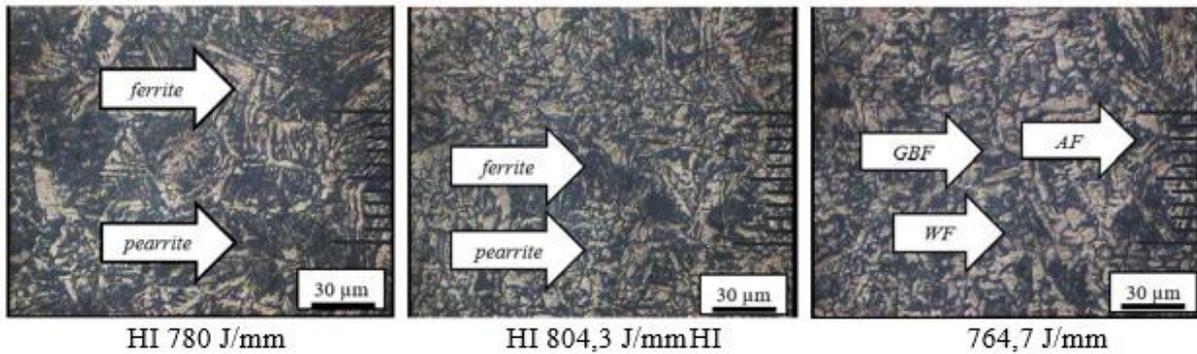
Gambar 3. Raw material (Pembesaran 100x)

Pengujian struktur mikro pada *raw material* mempunyai struktur mikro berupa struktur *ferrite* dan *pearlite*, dapat dilihat pada gambar 2. *ferrite* terlihat berwarna putih sedangkan *pearlite* berwarna hitam. Adanya unsur ini disebabkan oleh unsur-unsur yang terkandung pada baja karbon rendah. Hasil dari pengujian struktur mikro pada *raw material* didominasi oleh butir *ferrite*, menandakan bahwa *raw material* memiliki sifat ulet dan kuat [8-12].



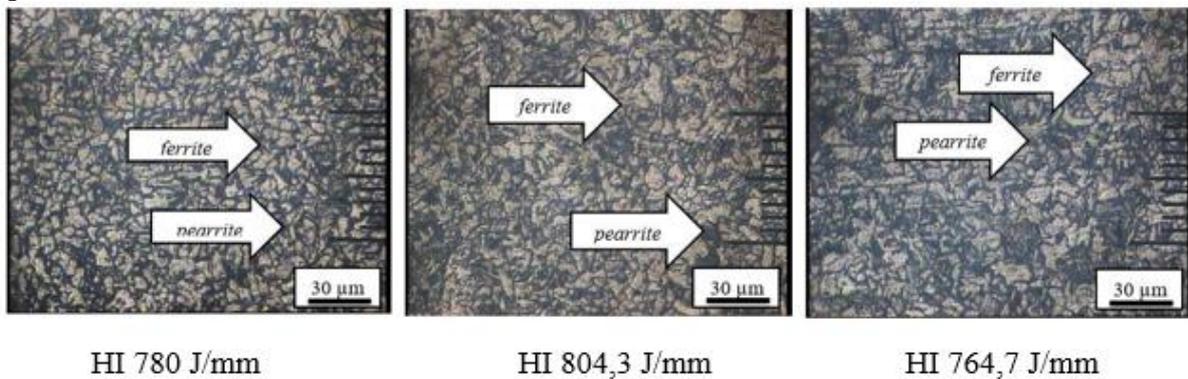
Gambar 4. Daerah Weld metal (Pembesaran 100x)

Pengamatan struktur mikro pada *weld metal*, terlihat susunan struktur mikronya terdiri dari *grain boundary ferrite*, *widmanstatten ferrite*, dan *acicular ferrite*. *Widmanstattenferrite* pada daerah *weld metal* berbentuk seperti berbentuk plat-plat sejajar. Sedangkan bentuk dari *acicular ferrite* berbetuk seperti plat-plat kecil yang saling menyilang seolah berbentuk sperti anyaman. Bentuk sperti ini yang biasa disebut dengan *interlocking structure* (dapat memperlambat laju perambatan retak) [11-15]. Untuk menaikkan tegangan tarik dan ketangguhan las *acicular ferrite* sangat dibutuhkan pada *weld metal*. Karena *acicular ferrite* memiliki ketangguhan yang tinggi dibandingkan dengan struktur yang lain [16].



**Gambar 5** Daerah HAZ Kasar (Pembesaran 100x)

Pada struktur mikro daerah HAZ kasar yang terbentuk adalah perlite dan ferrite. Karena pengaruh masukan panas (heat input) proses pengelasan lebih rendah sehingga hanya mengalami proses rekristalisasi dan pada saat pendinginan berubah menjadi ferrite halus. Struktur mikro daerah HAZ kasar terdapat perbedaan ukuran butirnya disetiap masukan panas (heat input), sehingga menyebabkan kekerasan dan kekuatan luluh yang berbeda-beda di setiap spesimen.



**Gambar 6** Daerah Base Metal (Pembesaran 100x)

Hasil foto struktur mikro pada base metal disetiap masing-masing spesimen dengan heat input yang berbeda-beda, struktur yang terbentuk didominasi oleh ferrite dibandingkan dengan struktur pearlite sehingga struktur mikro yang ada pada base metal sama dengan struktur yang ada pada raw material. Hal ini dikarenakan struktur mikro pada daerah base metal tidak terpengaruh oleh panas yang dihasilkan selama proses pengelasan, seperti pada daerah HAZ yang memiliki struktur mikro yang berbeda dengan struktur mikro yang terbentuk pada raw material maupun daerah base metal.

Pengujian *impact* dilakukan pada daerah *weld metal* yang diberi takikan, dibuat menggunakan mesin gerinda tangan dengan kedalaman 2 mm dan sudut 45°. Pembuatan takik bertujuan untuk membuat jalur sobekan *impact*. Sehingga, untuk mencari harga keuletan digunakan rumus:

$$Hk = W \times g \times R (\cos \beta - \cos \alpha) \text{ (Joule)}$$

$$Hk = (20 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2) \times 0,8 \text{ m} (\cos 115 - \cos 151) \text{ (Joule)}$$

$$Hk = 72,3 \text{ Joule}$$

$$A = t \times b$$

$$= 5,88 \text{ mm} \times 8,95 \text{ mm}$$

$$= 52,6 \text{ mm}^2$$

Setelah didapatkan harga keuletan dicari harga *impact* dengan rumus:

$$Hi = Hk/A$$

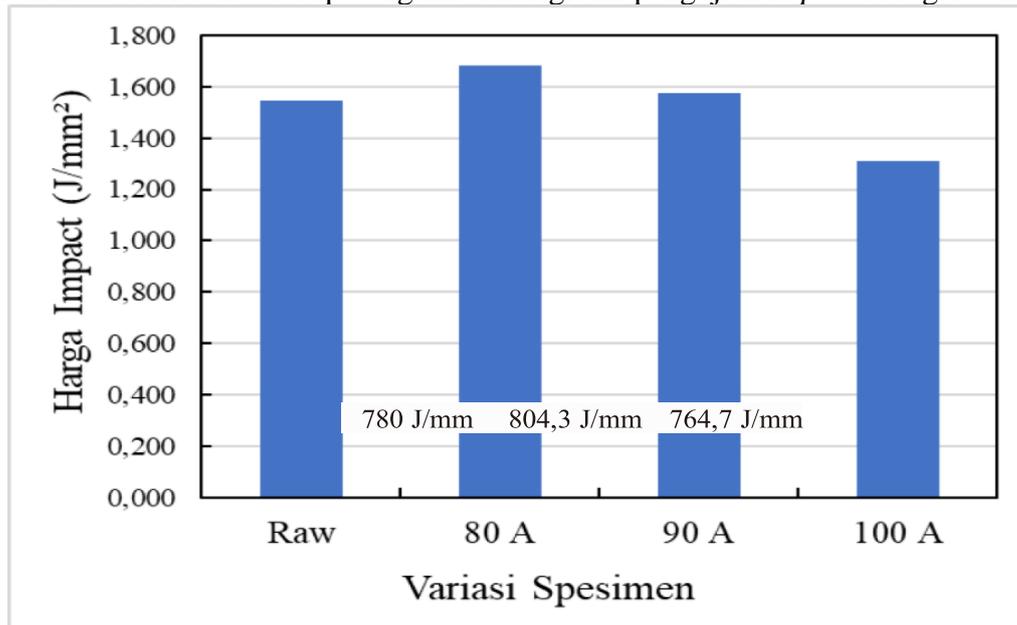
$$Hi = 72,3 \text{ J} / 52,6 \text{ mm}^2 \\ = 1,374 \text{ J/mm}^2$$

Dari hasil perhitungan menggunakan rumus diatas maka didapatkan harga keuletan dan harga *impact* dengan hasil sebagai berikut yang terlampir pada Tabel 3 dibawah ini

**Tabel 3** Hasil Pengujian *Impact*

No.	Variasi Spesimen	Sudut	Energi	Sudut	Energi	Luas (mm <sup>2</sup> )	Harga Impact (J/mm <sup>2</sup> )
		$\alpha$ (°)	(J)	$\beta$ (°)	Terserap (J)		
1	R-1	151	300	109,00	87,8	47,6	1,846
2	R-2	151	300	119,50	61,2	49,2	1,243
3	80A_1	151	300	115,00	72,3	52,6	1,374
4	80A_2	151	300	111,00	82,6	46,6	1,773
5	80A_3	151	300	107,00	93,2	49,1	1,898
6	90A_1	151	300	113,50	76,1	37,8	2,012
7	90A_2	151	300	122,00	55,2	32,8	1,683
8	90A_3	151	300	128,50	40,3	39,5	1,022
9	100A_1	151	300	122,50	54,0	46,6	1,158
10	100A_2	151	300	119,00	62,4	45,4	1,373
11	100A_3	151	300	117,50	66,1	47,3	1,396

Dari hasil tabel 3 diatas dapat digambarkan grafik pengujian *Impact* sebagai berikut:

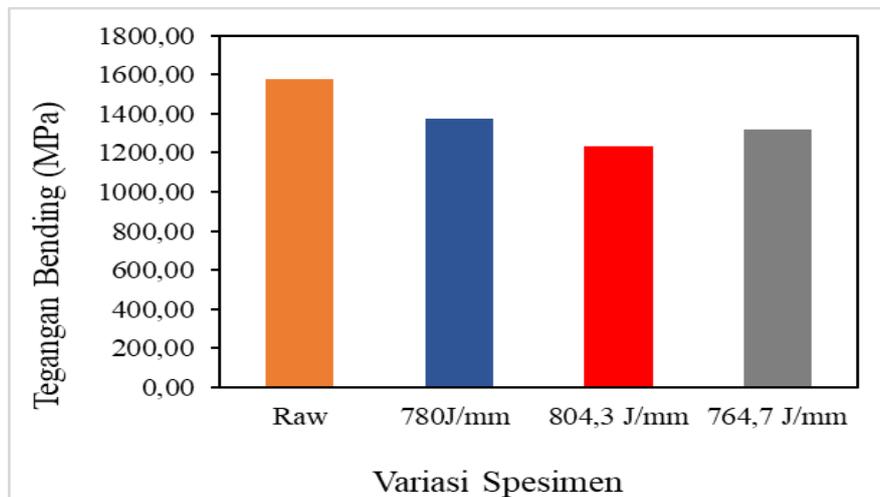


**Gambar 7** Grafik Nilai Rata – Rata Harga Keuletan *Impact*

Berdasarkan grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa ketika variasi *specimen* menggunakan daya yang lebih besar HI 780 J/mm – HI 764,7 J/mm maka akan didapatkan harga *impact* yang makin mengecil. Tabel 3 diatas merupakan harga *impact* dari masing-masing *specimen*.

#### Hasil Pengujian Kelengkungan (Bending)

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai kekuatan lengkung maksimum dan besarnya regangan maksimum atau pertambahan panjang pada saat spesimen dilakukan pengujian kelengkungan (bending).



**Gambar 8** Grafik rata-rata tegangan *bending*

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa variasi spesimen untuk *Raw material* mempunyai tegangan *bending* (MPa) paling tinggi yaitu sebesar 1578,04 MPa, untuk variasi spesimen HI 780 J/mm mempunyai tegangan *bending* (MPa) paling kecil yaitu sebesar 1233,70 MPa. Secara berurutan akan didapatkan untuk HI 780 J/mm sebesar 1372,58 MPa dan untuk HI 764,7 J/mm sebesar 1321,68 MPa.

## KESIMPULAN

1. Hasil uji komposisi pada *raw material* menunjukkan bahwa *raw material* mengandung unsur utama bahwa *raw material* mengandung kadar *ferro* (Fe) sebesar 98,7991 %, *carbon* (C) sebesar 0,1600 %, *silicon* (Si) sebesar 0,0160 % dan *mangan* (Mn) sebesar 0,8489 %. Kandungan kadar *carbon* (C) sebesar 0,1600 % pada *raw material* menunjukkan bahwa spesimen merupakan baja karbon rendah dalam kelas baja lunak yang mana golongan beja karbon rendah dalam kelas baja lunak memiliki kadar karbon 0,12 – 0,20 %. Pada *weld metal* hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa kadar kandungan *ferro* (Fe) sebesar 98,8185 %, *carbon* (C) sebesar 0,1717 %, *silicon* (Si) sebesar 0,0174 % dan *mangan* (Mn) sebesar 0,8432 %.
2. Dari pengujian struktur mikro didapatkan kesimpulan bahwa pada *weld metal* terdiri dari *acicular ferrite*, *widmanstatten ferrite*, dan *grain boundary ferrite*. Berbeda sekali dengan struktur mikro pada daerah HAZ (*heat affected zone*) dan *raw material* yang terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*. Namun, ada perbedaan antara daerah HAZ dan *raw material* yaitu pada ukuran butir struktur mikronya, yang dimana struktur mikro pada daerah HAZ lebih halus dibandingkan dengan *raw material*. Perbedaan struktur mikro pada setiap daerah seperti *weld metal*, HAZ kasar-HAZ halus, dan base metal dapat mempengaruhi kekuatan mekanik.
3. Dilihat dari hasil pengujian ketangguhan *impact* menunjukkan bahwa harga ketangguhan *impact* terbesar terdapat pada spesimen *weld metal* dengan nilai 780j/mm yang memiliki harga *impact* sebesar 1,682 J/mm hal ini membuat harga *impact* terbesar dari pengujian yang dilakukan. Sedangkan harga *impact* terkecil terdapat pada spesimen 764,7 j/mm

dengan harga ketangguhan impact sebesar 1,309 J/mm. Berdasarkan hasil foto makro pada specimen uji, dapat disimpulkan patah yang terjadi pada specimen uji merupakan patah ulet.

4. Dari pengujian kekuatan lengkung (*bending*) pada spesimen *raw material* dan *weld metal* atau spesimen yang telah dilakukan proses pengelasan dengan variasi 780j/mm, 804,3 j/mm dan 764,7 j/mm diketahui bahwa harga tegangan lengkung tertinggi terdapat pada spesimen *raw material* dengan harga tegangan lengkung sebesar 1578.04 MPa, sedangkan pada spesimen *weld metal* dengan 780j/mm memiliki harga tegangan lengkung sebesar 1372.58 MPa, pada 804,3 j/mm memiliki harga tegangan lengkung sebesar 1233,70 MPa dan pada 764,7 j/mm memiliki harga tegangan lengkung sebesar 1321,68 MPa. Pada spesimen *weld metal* dapat disimpulkan bawa semakin tinggi nilai heat input maka semakin rendah pula harga tegangan lengkung yang dihasilkan. Pada foto makro uji bending tidak terlihat adanya retakan pada *specimen uji*, menandakan bahwa tidak ada cacat las pada *weld metal*.

## REFERENSI

- [1] Binudi Rahardjo, dan Bintang Adjiantoro. (2014). Pengaruh Unsur Ni, Cr dan Mn Terhadap Sifat Mekanik Baja Kekuatan Tinggi Berbasis Laterit.
- [2] Cary, B. Howard. (1989). *Modern Welding Technology*, second edition, Prentice Hall International, Inc. Engewood, New Jersey.
- [3] Djaprie (1993). *Metalurgi Mekanik Edisi ke 3*, Terjemahan Dari *Mechanical Metallurgy*, 3rd Edition.
- [4] Muklis Adam, Wartono, Agus Jayatun. (2022). Studi Pengaruh *Heat Input* Terhadap Kekuatan Lengkung Dan Kekerasan *Vickers* Sambungan Las SMAW Pada Baja Karbon Rendah, Teknik Mesin, ITNY.
- [5] Sonawan, Herry dan Rochim Suratman. (2004). *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam*. Bandung: CV AIFABETA.
- [6] Widharto dan Sri. (2006). *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.
- [7] Wiryosumarto, H dan T. Okumura. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradya Paraminto
- [8] Muhammad Arief Reynaldy, Ratna Kartikasari, & Angger Bagus Prasetyo. (2023). Pengaruh Temperatur Proses Austemper Besi Tuang Paduan Al (2,17%) Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Keausan. *Cendekia Mekanika*, 4(2), 175-184.
- [9] Pue Wea, J., Kartikasari, R., & Bagus Prasetyo, A. (2023). Pengaruh Waktu Proses Dct Pada Baja Mangan Dengan Penambahan 17,4 Cr Dan 18,4 Cr Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Keausan. *Cendekia Mekanika*, 4(2), 166-174.
- [10] Woko, S., Kartikasari, R., & Bagus Prasetyo, A. (2023). Analisis Proses Deep Cryogenic Treatment – Temper Pada Paduan Fe-14,6cr-10mn Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketahanan Korosi. *Cendekia Mekanika*, 4(2), 159-165.
- [11] Sepryanto, J., Kartikasari, R., & Bagus Prasetyo, A. (2023). Pengaruh Temperatur Anil Pada Paduan Fe-Al-Mn Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketahanan Aus. *Cendekia Mekanika*, 4(1), 1-9.
- [12] Wahyu Nugroho, A., Kartikasari, R., & Bagus Prasetyo, A. (2022). Pengaruh Penambahan Unsur Cu Pada Ingot Bahan Wajan Produk Ikm Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Keausan, Dan Ketahanan Korosi. *Cendekia Mekanika*, 3(2),

149-157.

- [13] Maruwasas Nainggolan, D., Kartikasari, R., & Prasetyo, A. B. (2022). Pengaruh Waktu Proses Austemper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketahanan Aus Paduan Fe-1, 8al-6,5c. *Cendekia Mekanika*, 3(2), 119-127.
- [14] Farkhan, M. F., Sutrisna, & Bagus Prasetyo, A. (2023). Analisis Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Pada Baja Tahan Karat Austenitik Terhadap Variasi Temperatur Temper. *Cendekia Mekanika*, 3(1), 41-50.
- [15] Arifin, F., Wartono, & Bagus Prasetyo, A. (2024). Studi Analisis Heat Input Terhadap Kekuatan Lengkung (Bending) Dan Kekuatan Tarik Sambungan Activated – Tig (A-Tig) Pada Baja Karbon Rendah. *Cendekia Mekanika*, 5(1), 54-61.
- [16] Farkhan, M. F., Sutrisna, & Bagus Prasetyo, A. (2023). Analisis Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Pada Baja Tahan Karat Austenitik Terhadap Variasi Temperatur Temper. *Cendekia Mekanika*, 3(1), 41-50.