

## Analisis Pengaruh *Heat Input* Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Sambungan *Butt Joint* Las *Smaw* Pada Baja Karbon Rendah

Muh. Alif Siddik<sup>1</sup>, Wartono<sup>2,\*</sup>, Nizam Effendi<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

*Welding is an essential job in industrial technology. Almost all metal connections of all types can be made using welding techniques. This research aims to determine the effect of heat input on the physical and mechanical properties of chemical composition tests, microstructure tests, tensile strength tests, and impact tests of SMAW welded butt joints on low-carbon steel. The raw material chemical composition test results contain the main elements (Fe) 98.99%, (Mn) 0.382%, (Si) 0.193%, and (C) content of 0.237%. The results of testing the chemical composition of weld metal contain levels of (Fe) 98.47%, (C) 0.086%, (Si) 0.441%, and (Mn) 0.853%. The results of the photo of the microstructure of the raw material contain ferrite and pearlite, while the weld metal contains acicular ferrite, widmanstatten ferrite, and grain boundary ferrite, in the HAZ area it still contains acicular ferrite, widmanstatten, grain boundary, in the base metal area it contains ferrite and pearlite. Tensile test results average tensile stress of raw material 46.95 (kg/mm<sup>2</sup>), heat input 122.12 Joules/mm 37.03 (kg/mm<sup>2</sup>), heat input 171.45 Joule/mm 32.94 (kg/mm<sup>2</sup>), heat input 210.66 Joule/mm 32.38 (kg/mm<sup>2</sup>). Average raw material tensile strain 0.2095%, heat input 122.12 Joule/mm 0.2029%, heat input 171.45 Joule/mm 0.1523%, heat input 210.66 Joule/mm 0.1661%. The average impact price of raw material is 1,743 Joule/mm<sup>2</sup>, heat input is 122.12 Joule/mm, it is 1,643 (Joule/mm<sup>2</sup>), heat input is 171.45 Joule/mm, it is 1,581 (Joule/mm<sup>2</sup>), heat input is 210.66 Joule/mm is 1.552 (Joule/mm<sup>2</sup>).*

**Keywords:** Low carbon steel, SMAW, Microstructure Test, Tensile Test, Impact Test.

### Abstrak

Pengelasan merupakan suatu pekerjaan yang sangat penting dalam teknologi industri. Hampir semua penyambungan logam untuk segala macam jenis dapat dibuat dengan teknik pengelasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *heat input* terhadap sifat fisis dan mekanis uji komposisi kimia, uji struktur mikro, uji kekuatan tarik, dan uji impak sambungan *butt joint* las *SMAW* pada baja karbon rendah. Hasil uji komposisi kimia *raw material* mengandung unsur utama (Fe) 98,99%, (Mn) 0,382%, (Si) 0,193%, Kadar (C) sebesar 0,237%. Hasil pengujian komposisi kimia *weld metal* mengandung kadar (Fe) 98,47%, (C) 0,086%, (Si) 0,441%, (Mn) 0,853%. Hasil foto struktur mikro *raw material* mengandung *ferrite* dan *pearlitte*, sedangkan pada *weld metal* mengandung *accicular ferrite*, *widmanstatten ferrite*, *grain boundary ferrite*, pada daerah *HAZ* masih mengandung *accicular ferrite*, *widmanstatten*, *grain boundary*, pada daerah *base metal* mengandung *ferrite* dan *pearlitte*. Hasil uji tarik rata-rata tegangan tarik *raw material* 46,95 (kg/mm<sup>2</sup>), *heat input* 122,12 Joule/mm 37,03 (kg/mm<sup>2</sup>), *heat input* 171,45 Joule/mm 32,94 (kg/mm<sup>2</sup>), *heat input* 210,66 Joule/mm 32,38 (kg/mm<sup>2</sup>). Rata-rata regangan tarik *raw material* 0,2095%, *heat input* 122,12 Joule/mm 0,2029%, *heat input* 171,45 Joule/mm 0,1523%, *heat input* 210,66 Joule/mm 0,1661%. Hasil rata-rata harga impak *raw material* 1,743 Joule/mm<sup>2</sup>, *heat input* 122,12 Joule/mm sebesar 1.643 (Joule/mm<sup>2</sup>), *heat*

input 171,45 Joule/mm sebesar 1,581 (Joule/mm<sup>2</sup>), heat input 210,66 Joule/mm sebesar 1,552 (Joule/mm<sup>2</sup>).

**Kata kunci:** Baja karbon rendah, SMAW, Uji Struktur Mikro, Uji Tarik, Uji Impak.

## PENDAHULUAN

Pada saat ini pengelasan merupakan suatu pekerjaan yang sangat penting dalam teknologi industri. Hampir semua penyambungan logam untuk segala macam jenis dapat dibuat dengan teknik pengelasan. Las busur listrik atau umumnya disebut las listrik adalah termasuk suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas yang salah satunya merupakan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). [9] Baja karbon adalah perpaduan antara *iron* (Fe) dan *carbon* (C) dengan sedikit *silicon* (Si), *manganese* (Mn), *phosphorus* (P), *sulfur* (S) dan *copper* (Cu). Sifat baja karbon sangat bergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,30%, baja karbon sedang mengandung 0,30% sampai 0,45% karbon dan baja karbon tinggi berisi karbon antara 0,45% sampai 1,70% [1].

Baja karbon rendah dapat di sambung dengan semua cara pengelasan yang ada didalam praktek dan hasilnya akan baik bilamana persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Pada dasarnya baja dengan karbon rendah adalah baja yang dapat dengan mudah dilas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi heat input terhadap sambungan las SMAW terhadap struktur mikro, kekuatan lengkung dan kekerasan vickers pada baja karbon rendah. [2] Pengujian komposisi kimia dilaksanakan dua tahap yaitu sebelum proses pengelasan dan sesudah proses pengelasan, untuk pengujian komposisi tahap pertama pada logam induk (*Base Metal*) sebelum proses pengelasan dilakukan dan tahap kedua pengujian komposisi dilakukan pada logam las sebelum mengalami proses perlakuan panas (*Heat Treatment*). [3] Masukan panas (*Heat input*) merupakan energi panas yang terjadi saat proses pengelasan berlangsung. Rumus *Heat Input* sebagai berikut [4]:

$$\text{Heat Input} = \eta \frac{E \cdot I}{v}$$

$$V = \frac{3,14 \times D}{T_{\text{total}}}$$

Sifat-sifat logam sangat dipengaruhi oleh struktur mikro, tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh gambaran suatu benda uji tentang sifat-sifatnya, bentuk struktur atau karakteristik tertentu guna penganalisaan terhadap sifat-sifat lain yang dimiliki benda uji, misalnya dengan variasi struktur mikro seperti jumlah, ukuran, bentuk, warna dan distribusi fase [6].

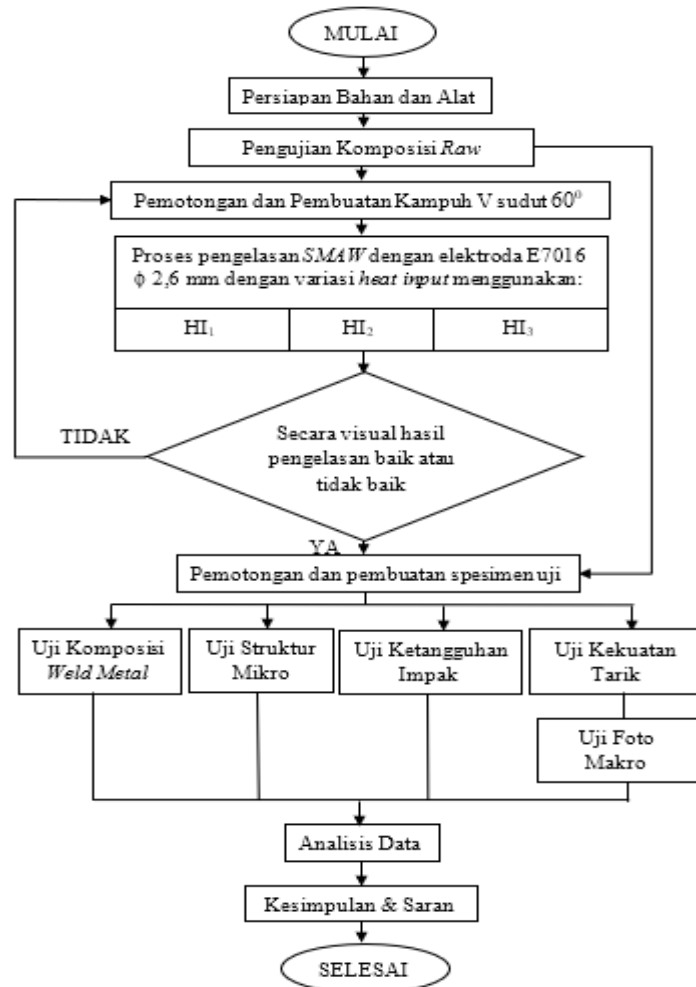
Uji tarik merupakan jenis pengujian yang dilakukan dengan melakukan penarikan terhadap suatu material sampai material tersebut patah atau putus. Benda uji yang diberi gaya tarik diletakkan secara sejajar dengan garis sumbu dan seranjang terhadap permukaan penampangnya. Rumus tegangan tarik sebagai berikut [7]

$$\sigma_t = \frac{F}{A_o}$$
$$A_o = t \times w$$
$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\%$$

Tujuan penelitian mengetahui pengaruh *heat input* terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan impak pada sambungan *Butt Joint* las SMAW pada baja karbon rendah:

## METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini menghasilkan, diagram alir sebagai berikut:

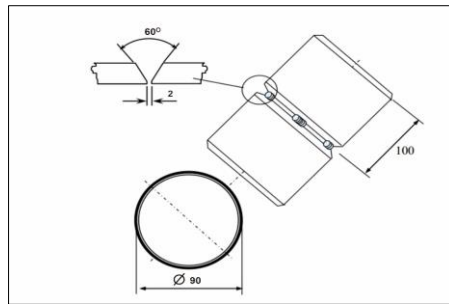


**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

Penelitian awal mencoba mengumpulkan data informasi pada bahan guna mendukung proses penentuan perlakuan benda terhadap pengujian, informasi pendukung melalui buku, *e-book*, Jurnal Ilmiah, Web terpercaya dan penelitian pendahulu. Pengumpulan data setelah penelitian awal selanjutnya mengalami proses pengelasan dengan *ampere* yang bervariasi sehingga diharapkan pada proses pengumpulan data setelah pengelasan mendapatkan hasil yang paling baik. Selanjutnya proses pengujian struktur mikro, pengujian tarik, dan pengujian impact guna menentukan sifat fisis terhadap kandungan yang didapatkan pada saat penelitian awal.

### Peralatan dan Bahan

Peralatan dalam penelitian ini menggunakan bahan Pipa Baja Karbon Rendah dengan ukuran 200 mm x Ø 90 mm x 5 mm, dan menggunakan kampuh V 60°. Alat dan bahan diantaranya mesin las *SMAW*, elektroda E7016 Ø 2,6 mm, Alat *Spectrometer*, gerinda, amplas, mesin bubut. Dalam penelitian untuk mencari data hasil uji dibutuhkan alat pengujian sebagai berikut:



**Gambar 2.** Bahan Pipa dengan sudut kampuh 60°.

### Alat Uji Tarik dan Uji Impak

Alat uji tarik adalah alat untuk mengukur tegangan dan regangan. Sedangkan alat uji impak adalah alat untuk menguji ketangguhan impak



(a)



(b)

**Gambar 3.** (a). Alat Uji Tarik (UTM LC-15T); (b). Mesin Uji Impak Charpy

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Komposisi Kimia

**Tabel 1.** Hasil pengujian komposisi kimia pada pipa baja dijelaskan pada tabel berikut:

| Unsur     | Kadar (%)    |                    |
|-----------|--------------|--------------------|
|           | <i>*Raw</i>  | <i>*Weld Metal</i> |
| <b>Fe</b> | <b>98,99</b> | <b>98,47</b>       |
| <b>C</b>  | <b>0,237</b> | <b>0,086</b>       |
| <b>Si</b> | <b>0.193</b> | <b>0,441</b>       |
| <b>Mn</b> | <b>0,394</b> | <b>0,853</b>       |
| S         | 0,019        | 0,016              |
| Cr        | 0,066        | 0,030              |
| Mo        | 0,017        | <0,0100            |
| Ni        | 0,017        | 0,023              |
| Cu        | 0,023        | 0,019              |
| Al        | <0,0050      | <0,0050            |
| Co        | <0,0050      | <0,0050            |
| Mg        | <0,0050      | <0,0050            |
| Nb        | 0,0076       | 0,23               |
| Ti        | <0,0030      | 0,0088             |
| V         | <0,0050      | <0,0050            |
| W         | <0,100       | <0,100             |
| P         | 0,026        | 0,024              |

## Pembahasan Pengujian Komposisi Kimia

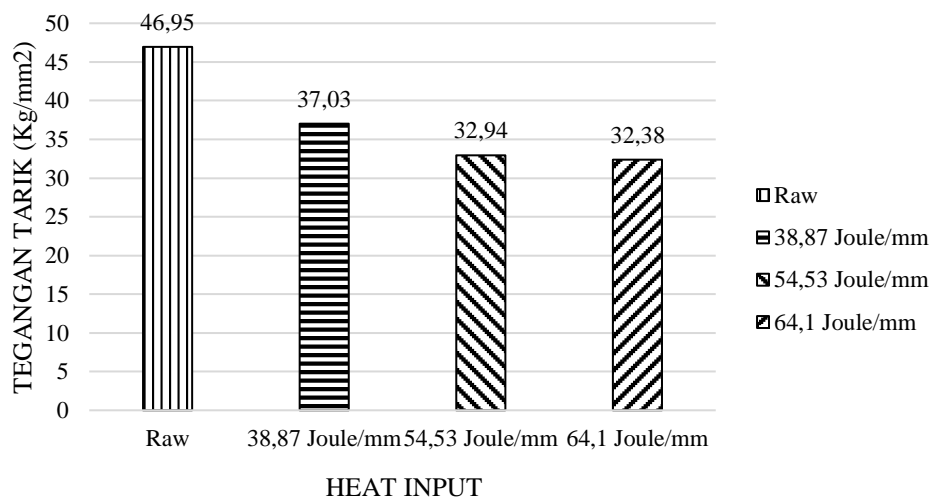
Hasil uji komposisi kimia pada tabel diatas menjelaskan bahwa kandungan karbon pada pipa baja adalah 0,237 %, kategori ini termasuk pipa baja karbon rendah. Terdapat kandungan mangan 0,394 %. Pipa baja ini cocok untuk kontruksi tiang baliho, tiang listrik, dan lain-lain.

## Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2. dibawah untuk masing-masing spesimen uji dengan *raw material*, variasi *heat input* 122,12 *Joule/mm*, 171,45 *Joule/mm*, dan 210,66 *Joule/mm*.

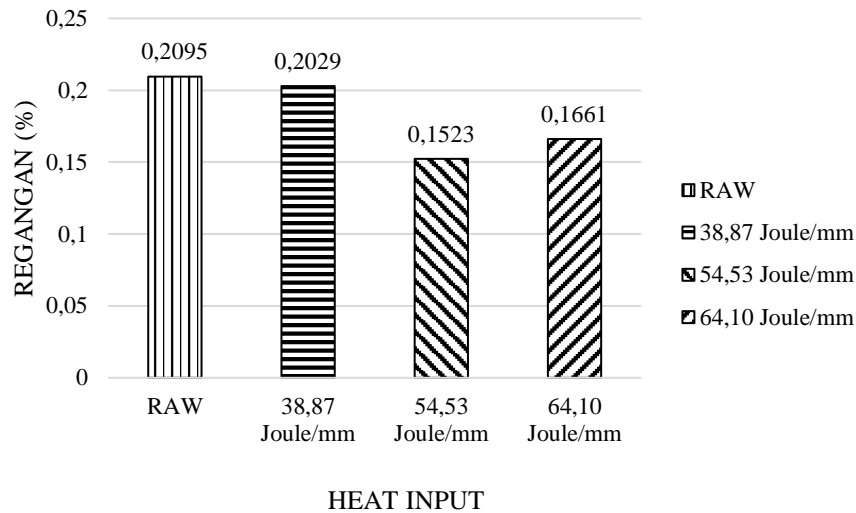
**Tabel 2.** Hasil pengujian tegangan tarik pada pipa baja dijelaskan pada tabel berikut:

| Specimen                        |   | W<br>(mm) | T<br>(mm) | Lo<br>(mm) | Li<br>(mm) | Max.Force | Tegangan<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) | Regangan<br>(%) |
|---------------------------------|---|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------------------------------|-----------------|
| Raw                             | 1 | 12,46     | 4,48      | 50         | 60,56      | 2818.98   | 46.74                             | 0,2112          |
|                                 | 2 | 12,71     | 4,52      |            | 60,39      | 2709.36   | 47.16                             | 0,2078          |
| Heat<br>Input<br>122,12<br>J/mm | 1 | 13,07     | 5,69      | 50         | 57,71      | 3044.68   | 40.94                             | 0,1542          |
|                                 | 2 | 13,18     | 6,25      |            | 60,47      | 2890.15   | 35.09                             | 0,205           |
|                                 | 3 | 12,72     | 4,82      |            | 62,48      | 2805.81   | 35.07                             | 0,2496          |
| Heat<br>Input<br>171,45<br>J/mm | 1 | 12,89     | 6,45      | 50         | 59,74      | 2785.14   | 33.50                             | 0,138           |
|                                 | 2 | 12,46     | 6,53      |            | 57,43      | 2617.60   | 32.17                             | 0,1466          |
|                                 | 3 | 13,17     | 6,57      |            | 56,62      | 2869.48   | 33.16                             | 0,1724          |
| Heat<br>Input<br>210,66<br>J/mm | 1 | 12,61     | 6,44      | 50         | 61,02      | 2606,10   | 32,09                             | 0,1366          |
|                                 | 2 | 12,93     | 6,14      |            | 60,22      | 2480,11   | 31,23                             | 0,2014          |
|                                 | 3 | 12,86     | 6,43      |            | 60,77      | 2748,71   | 33,84                             | 0,1604          |



**Gambar 4.** Grafik tegangan tarik rata-rata

Pada gambar 4 diatas merupakan grafik pengujian tarik *raw material* dan *heat input* 122,12 *Joule/mm*, 171,45 *Joule/mm*, dan 210,66 *Joule/mm*. Pada *raw material* pengujian dilakukan dan mendapatkan nilai tegangan rata-rata 46,95 *kg/mm<sup>2</sup>*. Sedangkan *heat input* 210,66 *Joule/mm* memiliki tegangan tarik paling tinggi sebesar 37,03 *kg/mm<sup>2</sup>*. Selanjutnya *heat input* 122,12 *Joule/mm* memiliki tegangan tarik sebesar 37,03 *kg/mm<sup>2</sup>* dan *heat input* 171,45 *Joule/mm* memiliki tegangan tarik sebesar 32,94 *kg/mm<sup>2</sup>*.



**Gambar 5.** Rata-rata Grafik Regangan

Pada gambar 5 diatas terlihat nilai regangan pada *raw material* lebih kecil dari pada nilai regangan pada *weld metal*, yaitu sebesar 20,95%, sedangkan pada *weld metal* nilai regangannya meningkat, pada *heat input* 122,12 *J/mm* sebesar 22,95%, pada *heat input* *J/mm* sebesar 171,45% dan pada *heat input* 210,66 *J/mm* sebesar 21,34%.

#### Pembahasan Foto Makro Pengujian Kekuatan Tarik



Gambar 7.(a) *Raw Material* : (b) WM dengan *Heat input* 122,12 *Joule/mm*

Pada gambar 7 dapat dianalisis bahwa pada spesimen dengan variasi *heat input* gambar (b) berbeda dengan *raw material* gambar (a). Hasil pengujian pada *weld metal* (WM) dengan *heat input* 122,12 *Joule/mm* lebih besar dibandingkan dengan *heat input* yang lain. Pada pengelasan SMAW memiliki tegangan tarik yang berbeda dapat dilihat dari bentuk patahannya. Perbedaan patahan dapat dilihat jelas perbandingannya antara spesimen *raw material* dengan *heat input* 122,12 *Joule/mm*.

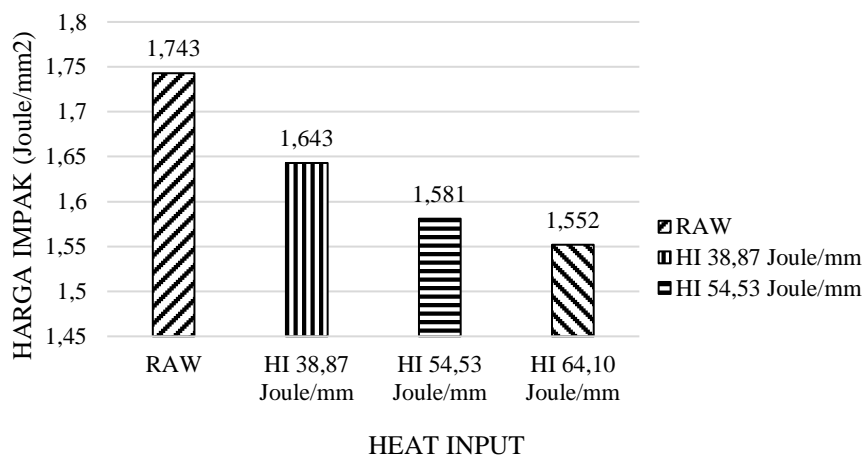
#### Hasil Pengujian Ketangguhan Impak

Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah untuk masing-masing spesimen uji dengan variasi *heat input* 122,12 *Joule/mm*, 171,45 *Joule/mm*, dan 210,66 *Joule/mm*. Pengujian

impak dilakukan menggunakan metode *Charpy* (USA), benda uji mengacu pada ASTM-E23 dengan berat palu sebesar 23,87 kgf dan panjang lengan 0,674 m.

**Tabel 4.** Rata – rata Harga Impak

| <i>Heat Input</i><br>(J/mm) | Harga Impak<br>(J/mm <sup>2</sup> ) | Harga Impak rata<br>– rata (Joule/mm) |
|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Raw_1                       | 1,815                               | 1,743                                 |
| Raw_2                       | 1,630                               |                                       |
| Raw_3                       | 1,784                               |                                       |
| 122,12                      | 1,349                               | 1,643                                 |
| 122,12                      | 2,193                               |                                       |
| 122,12                      | 1,389                               |                                       |
| 171,45                      | 1,575                               | 1,581                                 |
| 171,45                      | 1,384                               |                                       |
| 171,45                      | 1,786                               |                                       |
| 210,66                      | 1,550                               | 1,552                                 |
| 210,66                      | 1,373                               |                                       |
| 210,66                      | 1,735                               |                                       |



**Gambar 9.** Grafik rata-rata Harga Impak

Berdasarkan gambar 9 menunjukkan bahwa harga impact pada *raw material* lebih besar dari harga impact pada *weld metal*. Harga impact raw material sebesar 1,743 *Joule/mm<sup>2</sup>*, untuk *weld metal* dengan *heat input* 210,66 *Joule/mm* yaitu 1,552 *Joule/mm<sup>2</sup>*.

## Pembahasan Foto Makro Pengujian Kekuatan Tarik



**Gambar 10.** *Raw Material*



**Gambar 11.** *Heat input 122,12 Joule/mm*

Pada gambar diatas dapat dianalisis bahwa pada spesimen dengan variasi *heat input* berbeda yaitu *raw material*, *heat input 122,12 Joule/mm*, *heat input 171,45 Joule/mm*, *heat input 210,66 Joule/mm* pada pengelasan SMAW memiliki harga impact yang berbeda akan tetapi dari bentuk patahannya hampir sama. Patahan yang berbeda terlihat cukup jelas perbandingannya antara spesimen *raw material* dengan *heat input 210,66 Joule/mm*.

### KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) pada baja karbon rendah dengan variasi *heat input 122,12 Joule/mm*, *171,45 Joule/mm*, dan *210,66 Joule/mm*. Pengujian yang dilakukan meliputi uji komposisi kimia, uji impact, uji tarik, dan uji struktur mikro dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil uji komposisi pada *raw material* mengandung unsur utama yaitu Fe (*Ferro*) sebesar 98,99%, Mn (*mangan*) sebesar 0,382%, Si (*silicon*) sebesar 0,193%, Kadar *carbon* (C) sebesar 0,237% pada *raw material* menunjukkan, bahwa *raw material* digolongkan ke dalam baja karbon rendah, dengan kadar karbon 0,08% - 0,30%. Sedangkan berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia pada *weld metal* mengandung kadar Fe (*ferro*) sebesar 98,47%, kadar C (*carbon*) sebesar 0,086%, kadar Si (*silicon*) sebesar 0,441%, kadar Mn (*mangan*) sebesar 0,853%. Terkandungnya kadar *Carbon* (C) sebesar 0,086% menunjukkan pada *weld metal* termasuk golongan baja karbon rendah, dengan kadar karbon 0,08% - 0,30%.
2. Untuk nilai ketangguhan impact pada variasi *heat input 122,12 Joule/mm* sebesar 1,643 *Joule/mm<sup>2</sup>*, dan variasi *heat input 171,45 Joule/mm* sebesar 1,581 *Joule/mm<sup>2</sup>*. Jadi, semakin besar variasi *heat input* terhadap ketangguhan impact maka nilainya semakin kecil.
3. Nilai tertinggi pada tegangan tarik berada pada variasi *heat input 122,12 Joule/mm* sebesar 37,03 *kg/mm<sup>2</sup>*. Semakin besar variasi *heat input* terhadap tegangan tarik maka nilainya semakin kecil.
4. Hasil dari foto makro pada pengujian tarik dengan variasi *heat 122,12 Joule/mm*, *171,45 Joule/mm*, dan *210,66 Joule/mm* mengalami patah didaerah HAZ dan bentuk patahannya yaitu patah ulet.



## REFERENSI

- [1] Choirul, Wartono, dan Nizam (2022). Pengaruh Proses *Anneling* Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Vickers Las SMAW pada Baja Karbon Rendah. Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
- [2] Ivan Hamonangan Pandiangan, S. (2014, Januari 14). Pengaruh Masukan Panas Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketangguhan Pada Pengelasan Shield Metal Arch Welding (SMAW) Dari Pipa Baja Diameter 2,5 Inchi. (Susri Mizhar, Ed.) *Jurnal Dinamis, II*, 16-22.
- [3] Miftahul Huda. ST. MPD, F. S. Fery Setyawan (2016, Agustus 15). Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Kuat Arus Dengan Las Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Pada Baja A36 Terhadap Sifat Mekanik. (F. S. Miftahul Huda. ST. MPD<sup>1</sup>, Ed.) *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Umsida*, 1-9.
- [4] Naharuddin, A. S. (Januari 2015, Januari 1). Kekuatan Tarik Dan Bending Sambungan Las Pada Material Baja. (A. S. Naharuddin, Ed.) *Jurnal Mekanikal, 6*(sambungan las baja SM490), 550-555.
- [5] Suharso, Wartono, dan Abdulkadir (2023). Pengaruh *Heat Input* Terhadap Ketangguhan Impak dan Kekuatan Tarik Sambungan Las SMAW pada Baja Karbon Rendah. Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.
- [6] Wartono, (2019). Bahan Kuliah Teknologi Pengelasan. Teknik Mesin. Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.
- [7] Wiryosumarto, Harsono. Dan Okumura, T. (2000). Teknologi Pengelasan Logam. Cetakan Kedelapan. Pradnya Pramita. Jakarta.
- [8] Farkhan, M. F., Sutrisna and Bagus Prasetyo, A. (2023) “Analisis Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Pada Baja Tahan Karat Austenitik Terhadap Variasi Temperatur Temper”, *Cendekia Mekanika*, 3(1), pp. 41-50.
- [9] Arifin, F., Wartono and 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), pp. 54-61.