

## Variasi *Heat Input* Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan *Vickers* Sambungan *Butt Joint* Las SMAW Pada Baja Karbon Rendah

### *Variation of Heat Input on Tensile Strength and Vickers Hardness of SMAW Welding Butt Joints on Low Carbon Steel*

Muhammad Fa'iq Kafiluddin<sup>1</sup>, Wartono<sup>2\*</sup>

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

\*Korespondensi : wartono@itny.ac.id

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *heat input* terhadap uji komposisi kimia, uji kekuatan tarik, dan uji kekerasan *vickers* sambungan *butt joint* las SMAW pada baja karbon rendah. Penelitian ini menggunakan material pipa baja karbon, dengan ukuran 200 mm x Ø 80 mm x 5 mm, kampuh V sudut 60°. Dilas menggunakan mesin las SMAW AOTAI ARC500, 2 layer, dengan HI 143,29 Joule/mm, HI 157,99 Joule/mm, dan HI 186,78 Joule/mm. Elektroda yang digunakan E7016 Ø 2,6 mm. Hasil uji komposisi kimia bahan pipa baja mengandung kadar C 0,09 %. Hasil uji kekerasan *vickers*, nilai kekerasan pada *raw material* sebesar 131,05 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan bahan setelah dilas nilai kekerasan mengalami peningkatan sebesar 0,31 %. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* dengan HI 143,29 Joule/mm sebesar 178,30 kg/mm<sup>2</sup>. Hasil uji kekuatan tarik bahan RM dibandingkan dengan bahan yang sudah dilas mengalami penurunan kekuatan tarik sebesar 0,09 %. Dari ketiga variasi HI uji tarik, nilai tegangan tarik rata – rata tertinggi pada HI 143,29 Joule/mm sebesar 49.91 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai regangan rata – rata tertinggi pada HI 157,99 Joule/mm sebesar 0,206 %. Hasil uji tarik pada penelitian ini semua spesimen yang dilas putusnya pada daerah HAZ, menunjukkan bahwa pada daerah WM tidak ada cacat (porositas).

**Kata kunci:** *Heat Input, Shield Metal Arc Welding (SMAW)*, baja karbon rendah, uji kekuatan tarik, uji kekerasan *vickers*.

#### ABSTRACT

*This study aims to determine the effect of heat input on the chemical composition test, tensile strength test, and vickers hardness test of SMAW butt joint welding on low carbon steel. This study uses carbon steel pipe material, with a size of 200 mm x Ø 80 mm x 5 mm, V-bevel angle 60°. Welded using an AOTAI ARC500 SMAW welding machine, 2 layers, with HI 143.29 Joule / mm, HI 157.99 Joule / mm, and HI 186.78 Joule / mm. The electrode used is E7016 Ø 2.6 mm. The results of the chemical composition test of the steel pipe material contain a C content of 0.09%. The results of the vickers hardness test, the hardness value of the raw material is 131.05 kg / mm<sup>2</sup>, while the material after welding the hardness value increases by 0.31%. The highest hardness value in the weld metal area with HI 143.29 Joule/mm is 178.30 kg/mm<sup>2</sup>. The tensile strength test results of RM material compared to welded material experienced a decrease in tensile strength of 0.09%. Of the three variations of HI tensile test, the highest average tensile stress value at HI 143.29 Joule/mm is 49.91 kg/mm<sup>2</sup>. The highest average strain value at HI 157.99 Joule/mm is 0.206%. The tensile test results in this study all welded specimens broke in the HAZ area, indicating that there were no defects (porosity) in the WM area.*

**Keyword :** *Heat Input, Shield Metal Arc Welding (SMAW), low carbon steel, tensile strength test, vickers hardness test.*

#### PENDAHULUAN

Salah satu material yang sangat penting di bidang teknik adalah baja dan paduannya, terutama untuk industri struktur atau pemesinan, seperti struktur kapal laut, komponen otomotif, dan struktur pesawat terbang. Saat ini sambungan dengan cara proses pengelasan telah banyak digunakan pada berbagai konstruksi mesin dan struktur, karena dapat menurunkan biaya produksi dan dapat meningkatkan kekuatan strukturnya [7].

Baja terutama baja karbon rendah hingga sedang, memiliki kemampuan las yang baik karena komposisi karbonnya yang moderat. Dengan komposisi kimia yang sesuai, baja dapat di las dengan berbagai teknik pengelasan, seperti las busur listrik misalnya dengan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* [2].

*Shielded Metal Arc Welding* atau las busur logam terlindung adalah suatu proses pengelasan busur listrik dimana energi panas untuk pengelasan dibangkitkan oleh busur listrik yang terbentuk antara elektroda logam dan benda kerja [3].

Proses *SMAW* akan menghasilkan panas yang cukup tinggi, sehingga dapat menyebabkan perubahan struktur mikro pada daerah sekitar lasan (*Heat Affected Zone / HAZ*). Hal ini dapat mempengaruhi sifat mekanis atau kekuatan material di sekitar lasan [7].

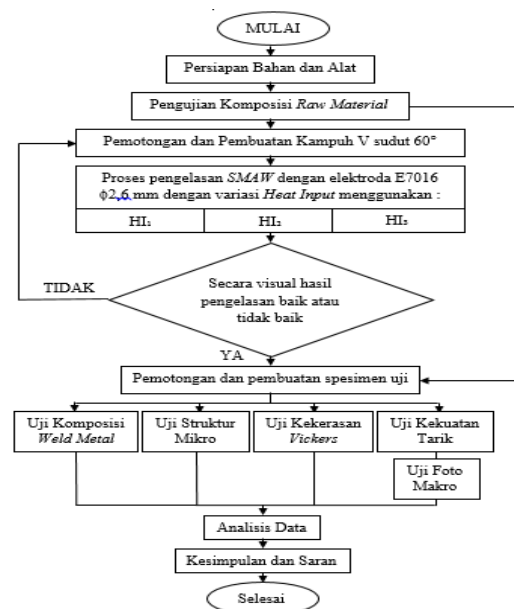
Pemanasan lokal pada permukaan logam induk selama proses pengelasan menghasilkan daerah pemanasan yang unik, artinya disetiap titik yang mengalami pemanasan itu memiliki karakteristik yang berbeda-beda [5].

Hal yang sangat menentukan hasil pengelasan yang optimal adalah salah satunya pengaturan besarnya *heat input* yang digunakan untuk menyambung logam tersebut.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang bagaimana “Pengaruh *heat input* terhadap kekuatan tarik dan kekerasan *Vickers* sambungan *Butt Joint* las *SMAW* pada pipa baja karbon rendah”.

## METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan seperti dalam diagram alir dibawah.

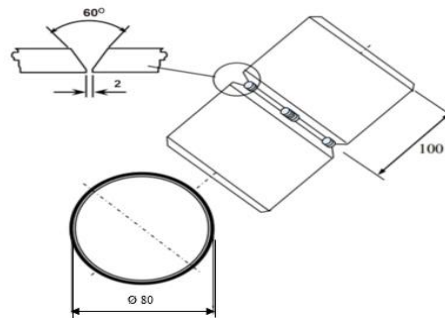


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

## Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan Pipa Baja dengan ukuran 200 mm x Ø 80 mm x 5 mm dan menggunakan jenis kampuh V 60°. Alat penelitian berupa mesin Las *SMAW* AOTAI ARC500, Elektroda Las E7016 diameter 2,6 mm, Alat *Spectrometer*, Alat *Vickers Hardness Tester*, Alat *Universal Tensile Machine* dan Mesin Pengamplas.

Untuk menyambung dua komponen logam dibuat kampuh V (*V groove*). Kampuh V banyak digunakan pada sambungan plat atau pipa tebal. Dalam pengelasannya dengan kampuh V sudut 60°, pengelasan dilakukan dengan satu sisi (*single side*) mulai dari akar (*root*), pengisian (*filler*), dan penutup (*caping*) [6].



Gambar 2. Bahan Pipa Dibuat Kampuh V 60°

## HASIL DAN ANALISIS

### Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur yang terdapat pada spesimen atau bahan yang akan diuji.

Dari hasil pengujian komposisi kimia pada pipa baja didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

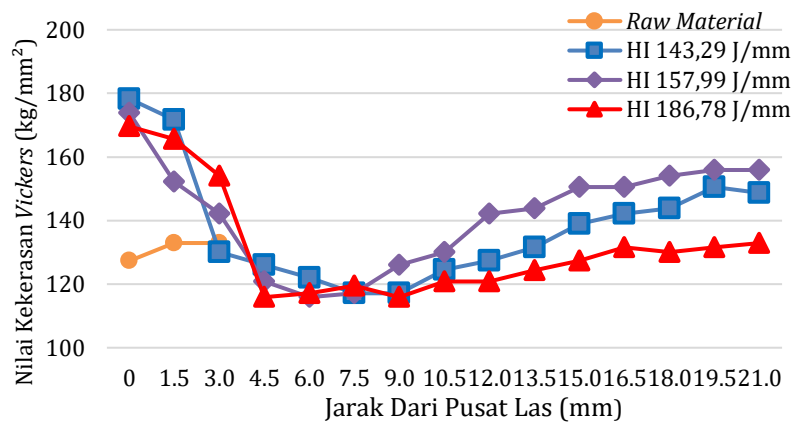
Unsur	Kadar(%)	Unsur	Kadar(%)
Fe	99,4944	P	0,0191
S	0,013	Cu	0,0458
Al	0,0417	Ti	0,0014
C	0,0963	N	0,0001
Ni	0,0129	B	0,0001
Nb	0,0005	Pb	0,004
Si	0,0084	Sb	0,0009
Cr	0,0143	Ca	0,0013
V	0,0013	Mg	0,0001
Mn	0,3002	Sn	0,0021
Mo	-0,0002	Co	0,0019
W	0,0001		

Hasil uji komposisi kimia pada tabel diatas bahwa kandungan karbon pada pipa baja adalah 0,0963 %, pipa baja ini termasuk baja karbon rendah. Baja karbon rendah ini memiliki sifat mekanis yang cukup baik untuk aplikasi umum, karena kekuatan yang moderat serta kemampuannya untuk di las. Dengan kandungan karbon yang rendah, baja ini tidak mudah mengeras melalui perlakuan panas, yang membuatnya cocok untuk aplikasi dimana ketangguhan lebih penting dari pada kekerasan yang ekstrem. Pada pipa baja ini terdapat kandungan mangan 0,3002 %. Dengan kandungan mangan 0,3002% juga mendukung kekuatan dan kekerasan baja, meskipun tetap mudah untuk di las. Dengan komposisi seperti ini termasuk jenis baja karbon rendah SAE 1015, cocok digunakan untuk komponen otomotif, peralatan konstruksi, dan konstruksi struktural lainnya.

### Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Harga pengujian kekerasan *vickers*, ditunjukkan oleh penetrator yang terbuat dari piramida intan, sudut antara dua bidang sisi piramida 136°. Identor ditekankan ke permukaan benda uji [4].

Pengujian kekerasan *vickers* dilakukan dengan pembebanan 60 kg, jarak antara titik 1,5 mm. Banyak titik pada spesimen variasi *raw material* sebanyak 3 titik (acak) dan pada spesimen variasi *heat input* sebanyak 15 titik. Dari pengujian kekerasan *vickers* yang dilakukan diperoleh hasil pengujiannya sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik Gabungan Nilai Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan *vickers* pada *raw material*, didapatkan hasil dengan nilai kekerasan *vickers* rata-rata sebesar 131,05 kg/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada spesimen variasi *HI* 143,29 *Joule/mm*, didapatkan hasil dengan nilai kekerasan *vickers* yang bervariasi disetiap titiknnya. Terjadi penurunan nilai kekerasan dari titik ke-3 sampai titik ke-6 dan pada titik ke-7 sampai titik ke-15 mulai terjadi peningkatan nilai kekerasan secara perlahan, itu menunjukkan pada titik ke-3 sampai titik ke-8 merupakan daerah *HAZ* kasar (batas *weld metal*) dan pada titik ke-9 sampai titik ke-15 sudah mulai daerah *HAZ* halus sampai ke daerah logam induk (*base metal*). Nilai kekerasan tertinggi berada pada daerah *weld metal* yaitu sebesar 178,30 kg/mm<sup>2</sup> dan nilai kekerasan terendah berada pada daerah *HAZ* kasar (batas *weld metal*) sebesar 117,12 kg/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada spesimen variasi *HI* 157,99 *Joule/mm*, didapatkan hasil dengan nilai kekerasan *vickers* yang bervariasi disetiap titiknnya. Terjadi penurunan nilai kekerasan secara signifikan dari titik ke-2 sampai titik ke-5, dan pada titik ke-6 sampai titik ke-15 mulai terjadi peningkatan nilai kekerasan secara perlahan, itu menunjukkan pada titik ke-2 sampai titik ke-8 merupakan daerah *HAZ* kasar (batas *weld metal*) dan pada titik ke-9 sampai titik ke-15 sudah mulai masuk daerah *HAZ* halus sampai ke daerah logam induk (*base metal*). Nilai kekerasan tertinggi berada pada daerah *weld metal* yaitu sebesar 173,85 kg/mm<sup>2</sup> dan nilai kekerasan terendah berada pada daerah *HAZ* kasar (batas *weld metal*) sebesar 115,90 kg/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada spesimen variasi *HI* 186,78 *Joule/mm*, didapatkan hasil dengan nilai kekerasan *vickers* yang bervariasi disetiap titiknnya. Terjadi penurunan nilai kekerasan secara signifikan dari titik ke-3 sampai titik ke-4, pada titik ke-4 sampai titik ke-6 terjadi peningkatan yang tidak signifikan lalu terjadi penurunan kembali sampai titik ke-7, dan pada titik ke-8 sampai titik ke-15 mulai terjadi peningkatan nilai kekerasan secara perlahan, itu menunjukkan pada titik ke-3 sampai titik ke-8 merupakan daerah *HAZ* kasar (batas *weld metal*) dan pada titik ke-9 sampai titik ke-15 sudah mulai masuk daerah *HAZ* halus sampai ke daerah logam induk (*base metal*). Nilai kekerasan tertinggi berada pada daerah *weld metal* yaitu sebesar 169,60 kg/mm<sup>2</sup> dan nilai kekerasan terendah berada pada daerah *HAZ* kasar sebesar 115,90 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan *vickers* tertinggi berada pada daerah *weld metal*, yaitu pada variasi *HI* 143,29 *Joule/mm* dengan nilai kekerasan *vickers* sebesar 178,30 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan *vickers* terendah pada daerah *HAZ*, yaitu pada variasi *HI* 157,99 *Joule/mm* dan *HI* 186,78 *Joule/mm* dengan nilai kekerasan *vickers* sebesar 115,90 kg/mm<sup>2</sup>.

**Hasil Pengujian Kekuatan Tarik**

Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah, untuk masing - masing spesimen uji dengan variasi *raw material*, *HI* 143,29 *Joule/mm*, *HI* 157,99 *Joule/mm*, dan *HI* 186,78 *Joule/mm*. Spesimen uji tarik mengacu pada ASTM - E8M [1].

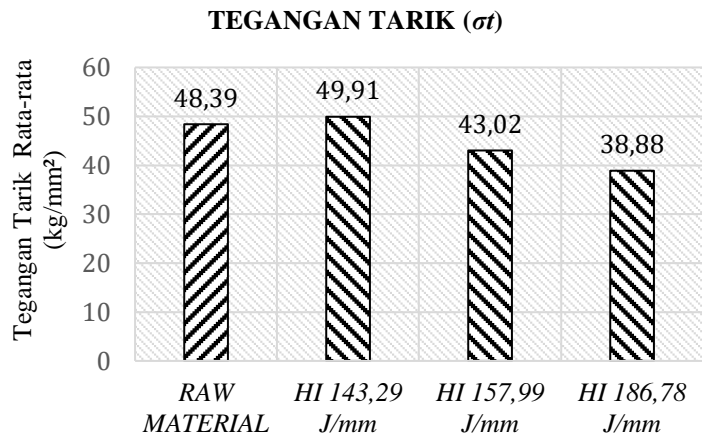
Dari pengujian kekuatan tarik yang dilakukan diperoleh hasil pengujiannya sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kekuatan Tarik

Spesimen	No	w(mm)	t(mm)	<i>l<sub>0</sub></i> (mm)	<i>l<sub>1</sub></i> (mm)	<i>P</i> (kg)	<i>σ</i> (kg/mm <sup>2</sup> )	<i>ε</i> (%)
Raw Material	1	12,55	5,24	50	61,7	3118,94	47,43	0,234
	2	12,96	5,22		57,48	3339,22	49,36	0,229
HI 143,29 Joule/mm	1	12,72	5,05	50	57,12	2397,38	37,32	0,142
	2	12,24	4,95		58,66	2196,49	36,25	0,173
HI 157,99 Joule/mm	1	12,90	4,89	50	58,77	4804,93	76,17	0,175
	2	12,59	4,89		60,24	2417,75	38,56	0,204
HI 186,78 Joule/mm	1	13,19	4,9	50	60,38	2584,19	39,98	0,207
	2	13,19	4,9		60,38	2584,19	39,98	0,207

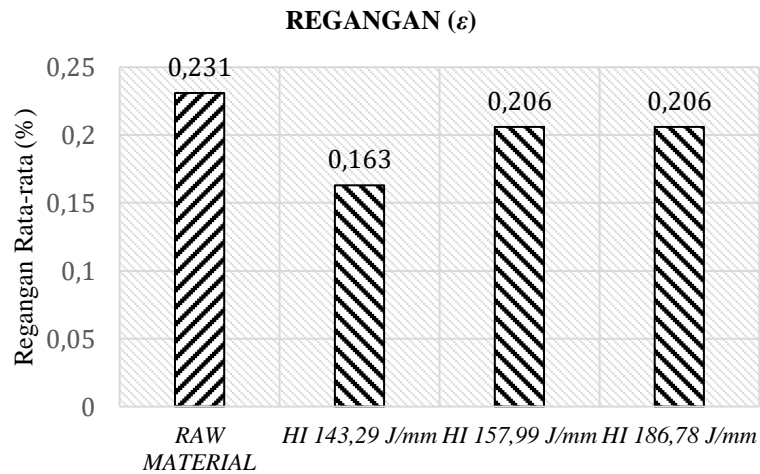
Variasi Heat Input Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan *Vickers* Sambungan *Butt Joint* Las SMAW Pada Baja Karbon Rendah (Muhammad Fa'iq Kafiluddin, Wartono)

<i>Joule/mm</i>	3	12,45	4,99		60,35	3139,62	50,54	0,207
<i>HI</i>	1	12,93	5,01		60,08	2437,06	37,62	0,201
186,78	2	12,78	4,9	50	61,07	2595,63	41,45	0,221
<i>Joule/mm</i>	3	12,4	4,77		59,85	2222,92	37,58	0,197



**Gambar 4.** Grafik Tegangan Tarik Rata-rata

Pada gambar 4 diatas merupakan grafik tegangan tarik rata – rata, pengujian tarik dilakukan dengan variasi *raw material*, *HI 143,29 Joule/mm*, *HI 157,99 Joule/mm*, dan *HI 186,78 Joule/mm*. Nilai tegangan tarik rata – rata tertinggi pada variasi *HI 143,29 Joule/mm* yaitu dengan nilai sebesar 49.91 kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai tegangan tarik rata-rata terendah pada variasi *HI 186,78 Joule/mm* yaitu dengan nilai sebesar 38.88 kg/mm<sup>2</sup>.



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

Pada gambar 5 diatas merupakan grafik regangan rata – rata, pengujiannya dilakukan dengan variasi *raw material*, *HI 143,29 Joule/mm*, *HI 157,99 Joule/mm*, dan *HI 186,78 Joule/mm*. Nilai regangan rata-rata tertinggi ada variasi *HI 157,99 Joule/mm* dan variasi *HI 186,78 Joule/mm* yaitu sebesar 0,206 %. Sedangkan nilai regangan rata-rata terendah ada pada variasi *HI 143,29 Joule/mm* yaitu dengan nilai 0,163 %.

**Hasil Foto Makro Pengujian Tarik**



ReTII XX :

**Gambar 6.** Foto Makro Raw Material



**Gambar 7.** Foto Makro HI 143,29 Joule/mm



**Gambar 8.** Foto Makro HI 157,99  
Joule/mm



**Gambar 9.** Foto Makro HI 186,78  
Joule/mm

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pada spesimen dengan variasi *raw material*, HI 143,29 Joule/mm, HI 157,99 Joule/mm, dan HI 186,78 Joule/mm pada pengelasan SMAW memiliki bentuk patahan yang sama yaitu patah ulet, dimana bentuk patahannya cenderung mengkerucut dan mengecil dibagian ujung. Pada spesimen *weld metal* patahannya tidak pada daerah *weld metal* melainkan pada daerah HAZ.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dan pembahasannya, maka dapat ditarik kesimpulan seperti berikut ini :

1. Setelah dilakukan pengujian komposisi kimia dapat diketahui pada pipa baja karbon, *raw material* mengandung kadar Fe (*Ferro*) sebesar 99,4944%, *carbon* (C) 0,0963 %, Si (*silicon*) sebesar 0,0084%, dan Mn (*mangan*) sebesar 0,3002 %. Kadar carbon (C) 0,0963 % menunjukkan bahwa pada *raw material* masuk kedalam klasifikasi baja karbon rendah. Dengan komposisi seperti ini termasuk jenis baja karbon rendah SAE 1015, cocok digunakan untuk komponen otomotif dan peralatan konstruksi.
2. Hasil pengujian kekerasan *vickers*, nilai kekerasan *vickers* tertinggi berada pada daerah *weld metal*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai kekerasan *vickers* pada *weld metal* variasi HI 143,29 Joule/mm sebesar 178,30 kg/mm<sup>2</sup>, HI 157,99 Joule/mm sebesar 173,85 kg/mm<sup>2</sup>, dan HI 186,78 Joule/mm sebesar 169,60 kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk *raw material* mendapatkan nilai kekerasan *vickers* rata-rata sebesar 131,05 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan *vickers* terendah pada daerah HAZ. Hal ini ditunjukkan oleh nilai kekerasan *vickers* pada daerah HAZ variasi HI 143,29 Joule/mm sebesar 117,12 kg/mm<sup>2</sup>, HI 157,99 Joule/mm sebesar 115,90 kg/mm<sup>2</sup>, dan HI 186,78 Joule/mm sebesar 115,90 kg/mm<sup>2</sup>.
3. Hasil pengujian kekuatan tarik, nilai tegangan tarik rata-rata pada *raw material* yaitu sebesar 48,39 kg/mm<sup>2</sup>, HI 143,29 Joule/mm yaitu sebesar 49,91 kg/mm<sup>2</sup>, HI 157,99 Joule/mm yaitu sebesar 43,02 kg/mm<sup>2</sup> dan HI 186,78 Joule/mm yaitu sebesar 38,88 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai tegangan tarik rata – rata tertinggi pada variasi HI 143,29 Joule/mm yaitu dengan nilai sebesar 49.91 kg/mm<sup>2</sup>. Pada nilai regangan rata-rata pada *raw material* yaitu sebesar 0,231 %, variasi HI 143,29 Joule/mm yaitu sebesar 0,163 %, HI 157,99 Joule/mm yaitu sebesar 0,206 %, dan HI 186,78 Joule/mm yaitu sebesar 0,206 %. Nilai regangan rata – rata tertinggi ada variasi HI 157,99 Joule/mm dan variasi HI 186,78 Joule/mm yaitu sebesar 0,206 %. Sedangkan nilai regangan rata-rata terendah ada pada variasi HI 143,29 Joule/mm yaitu dengan nilai 0,163 %.
4. Hasil dari foto makro pengujian kekuatan tarik pada *raw material*, HI 143,29 Joule/mm, HI 157,99 Joule/mm, dan HI 186,78 Joule/mm pada pengelasan SMAW memiliki bentuk patahan yang sama yaitu patah ulet, yang dimana bentuk patahannya cenderung mengkerucut dan mengecil dibagian ujung. Pada spesimen *weld metal* patahannya tidak pada daerah *weld metal* melainkan pada daerah HAZ.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan telah selesainya penelitian ini, kami mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Laboratorium Itokoh Ceper Klaten Jawa Tengah, Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] ASM Handbook, Welding Brazing and Soldering, vol. 1, USA, 1993.
- [2] R. Fathur dan R. Dwi, Teknologi Pengelasan SMAW, Yogyakarta: Andi Publisher, 2022.
- [3] Robert W. messler, Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy, Cambridge University Press, 2024.
- [4] A. Schonmetz dan K. Gruber, Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam, Bandung: PT. Angkasa, 1977.
- [5] H. Sonawan, Suratman, dan Rochim, Pengantar untuk memahami proses teknologi pengelasan logam. Cetakan kedua, Bandung: Alfabeta, 2006.
- [6] Wartono, Bahan Kuliah Teknologi Pengelasan. Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, 2019.
- [7] Wirjosumarto, Harsono. dan T. Okumura, Teknologi Pengelasan Logam, Cetakan Kedelapan. Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.