

Pengaruh Besar *Heat Input* Terhadap Sifat Fisis dan Sifat Mekanis Sambungan *Butt Joint* Las *Smaw* Pada *Carbon Steel Ss400*

Armin Agus Dhombo¹, Wartono^{2*}, Yohanes Agus Jayatun³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : wartono@itny.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh input panas terhadap sifat fisik dan mekanik sambungan las busur logam terlindung (*Shielded Metal Arc Welding*) pada baja karbon SS400. Menggunakan bahan baja karbon SS400 dengan ukuran 300mm x 100mm x 12mm, sambungan V-seam dengan sudut kemiringan 30°. Menggunakan las busur listrik *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merek: *Inverter Welding*, Tipe: MMA-400M. Menggunakan elektroda merek: Kobelco Familiarc LB-52, AWS A5.1 E7016 dengan diameter kawat 3,2 mm. Proses las menggunakan tiga variasi input panas (HI) dengan tiga lapisan (penetrasi, pengisi, dan penutup), yaitu: HI₁ arus 115A, HI₂ arus 120A, dan HI₃ arus 125A pada posisi las vertikal 3G. Menggunakan empat uji, yaitu: uji komposisi, uji mikrostruktur, uji tarik, dan uji dampak. Hasil uji komposisi menunjukkan perbedaan antara bahan baku dan logam las, bahan baku mengandung lebih banyak unsur (Fe) daripada logam las. Hasil uji mikrostruktur panas proses las sangat mempengaruhi perubahan mikrostruktur logam las. Hasil uji tarik: arus 125A 493,7 MPa, arus 120A 478,9 MPa, arus 115A 473,4 MPa, dan bahan baku 457,1 MPa. Hasil uji dampak: arus 115A 2.367 J/mm², arus 120A 2.337 J/mm², arus 125A 2.291 J/mm², dan bahan baku 1.539 J/mm².

Kata kunci: Baja Karbon SS400, Las SMAW, Heat Input, Uji Tarik, Uji Impak

ABSTRACT

The research aims to determine the influence of heat input on the physical and mechanical properties of Shielded Metal Arc Welding butt joints on carbon steel SS400. Using SS400 carbon steel material measuring 300mm x 100mm x 12mm V-seam with a slope of 30°. Using electric arc welding Shielded Metal Arc Welding (SMAW) brand: Inverter Welding, Type: MMA-400M. ,Using brand electrodes; Kobelco Familiarc LB-52, AWS A5.1 E7016 wire diameter 3.2 mm. The welding process uses three variations of heat input (HI) using three layers (penetration, filler and capping), including; HI₁ current 115A, HI₂ current 120A and HI₃ current 125A vertical 3G welding position. Using four tests, namely: composition test, microstructure test, tensile test and impact test. The composition test results show differences in raw material and weld metal, raw material contains more elements (Fe) than weld metal. The results of the hot microstructure test of the welding process greatly influence the changes in the microstructure of the weld metal. Tensile test results: 125A current 493.7 MPa, 120A current 478.9 MPa, 115A current 473.4 MPa and raw material 457.1 MPa. Impact test results: 115A current 2,367 J/mm², 120A current 2,337 J/mm², 125A current 2,291 J/mm² and raw material 1,539 J/mm².

Keywords: Carbon Steel SS400, SMAW Welding, Heat Input, Testing Tensile, Impact Testing

PENDAHULUAN

Perkembangannya yang semakin pesat tidak bisa dipisahkan dari teknik pengelasan dalam merancang suatu produk konstruksi. Bisa kita lihat hampir semua produk konstruksi sangat bergantung pada unsur pengelasan terutama dalam rancang bangun, dikarenakan pengelasan merupakan teknik penyambungan yang relatif lebih murah dan mudah dalam operasionalnya.

Jenis pengelasan yang sering digunakan sesuai kebutuhan merupakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). SMAW merupakan metode pengelasan yang memiliki biaya yang murah, mudah digunakan, dan serbaguna karena dapat menggabungkan material dalam berbagai bidang seperti bidang kelautan, pembangunan kapal, otomotif, konstruksi dan industri.

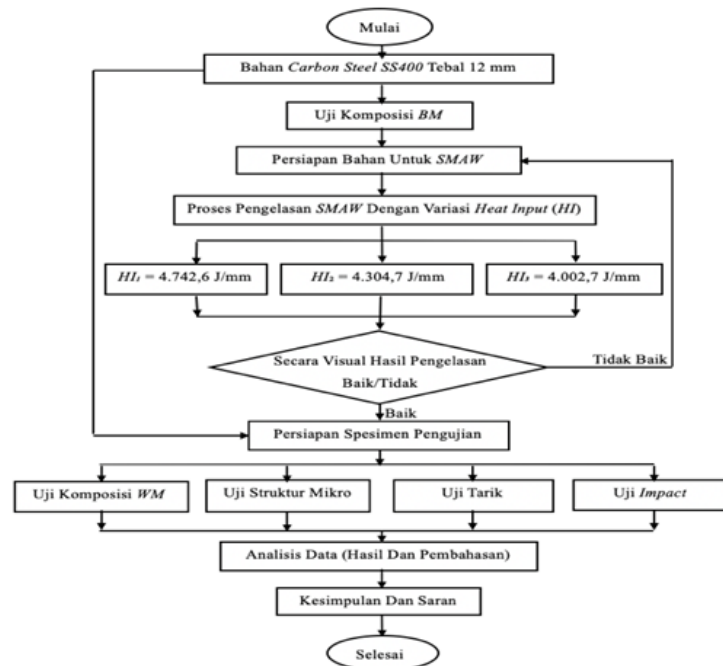
Material yang digunakan dalam penelitian ini merupakan baja karbon jenis SS400. Baja karbon ini memiliki kadar karbon sekitar 0,08%-0,25%. Baja karbon rendah dengan kadar 0,04%-0,10% C biasa dijadikan plat baja, untuk kadar karbon 0.05% C dijadikan untuk kebutuhan bagian kendaraan, baja dengan kadar karbon 0,15% - 0,20% C digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, atau dijadikan baja konstruksi [1] Baja

SS400 hanya bisa dikeraskan dengan cara pengerasan permukaan atau *surface hardening* seperti *carburizing* [2]

Baja SS400 adalah baja karbon rendah yang memiliki sifat keuletan yang baik, kekerasan yang sedang, dan sedikit kandungan silikon. Aplikasi baja SS400 biasa digunakan untuk industri konstruksi, kereta api, jembatan dan lain-lain. [3]

Pada hasil pengujian makro metalografi menunjukkan bahwa semakin tingginya heat input akan membuat lebar weld yang semakin lebar. Dan pada pengujian mikro metalografi didapatkan bahwa semakin besar heat input yang digunakan maka akan menyebabkan struktur mikro menjadi lebih kasar. Sehingga hal tersebut akan meningkatkan nilai ketangguhannya [4]

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Alat dan Bahan Penelitian

- Baja karbon SS400 untuk pengelasan berukuran 300 mm x 100 mm x 12 mm
- Baja karbon SS400 untuk Raw Material berukuran 300 mm x 200 mm x 12 mm
- Kawat las merk : Kobelco Familiarc LB-52, AWS A5.1 E7016 dengan diameter kawat 3,2mm
- Amplas
- Autosol
- Zat logam berupa resin
- Mesin potong CNC Plasma Cutting
- Mesin Gerinda mata gosok
- Jangka sorong
- Mesin las SMAW
- Mesin Gerinda
- Mistar Siku, mistar baja, jangka sorong, penggaris besi dan penggores
- Alat uji komposisi
- Alat uji struktur mikro
- Alat uji Tarik
- Alat uji impact

Dalam penelitian ini ada beberapa yang harus dipersiapkan seperti :



- a) Perhitungan *Heat Input*
- b) Persiapan pengelasan dan proses pengelasan
- c) Persiapan Spesimen Pengujian
- d) Pengujian bahan seperti, komposisi, struktur mikro, pengujian tarik, pengujian *impact*.

HASIL DAN ANALISIS

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi *Raw Material*

UNSUR	SAMPEL UJI	
	Presentase Berat (%)	Standart Deviasi
C	0,138	0,0055
Si	0,392	0,0034
Mn	0,769	0,036
P	0,027	0,00008
S	0,021	0,0004
Cr	0,032	0,0006
Mo	0,026	0,0031
Ni	0,020	0,0015
Cu	0,027	0,0006
Al	<0,0050	0,0004
Co	0,0052	0,0006
Mg	<0,0050	0,00006
Nb	0,0072	0,0022
Ti	0,0086	0,0007
V	0,0051	0,0003
W	<0,100	0,0055
Fe	98,48	0,040

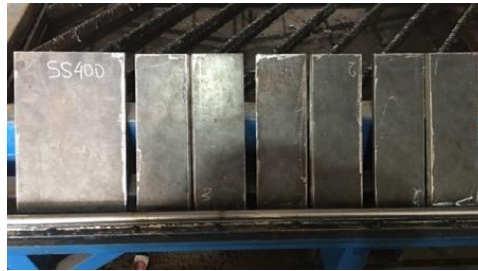
Tabel 2.

Komposisi *Weld Metal*

Hasil Uji

UNSUR	SAMPEL UJI	
	Presentase Berat (%)	Standart Deviasi
C	0,230	0,011
Si	0,196	0,012
Mn	0,284	0,0091
P	0,027	0,0002
S	0,021	0,0007
Cr	<0,0100	0,0008
Mo	0,016	0,0033
Ni	<0,0100	0,0020
Cu	0,0083	0,0007
Al	0,025	0,0012
Co	<0,0050	0,0008
Mg	<0,0050	0,00008
Nb	0,0060	0,0005
Ti	<0,0030	0,0006
V	<0,0050	0,00007
W	<0,100	0,0087
Fe	99,14	0,040

Dari tabel diatas diketahui bahwa komposisi pada baja karbon *SS400* (Fe) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 99,14%. Selain baja karbon *SS400*, unsur magnesium (mg) mendominasi sebesar 0,284%, *Carbon* (C) sebesar 0,230% dan *Silicon* (Si) sebesar 0,196%.



Gambar 2. Pengamatan Visual Sebelum Las

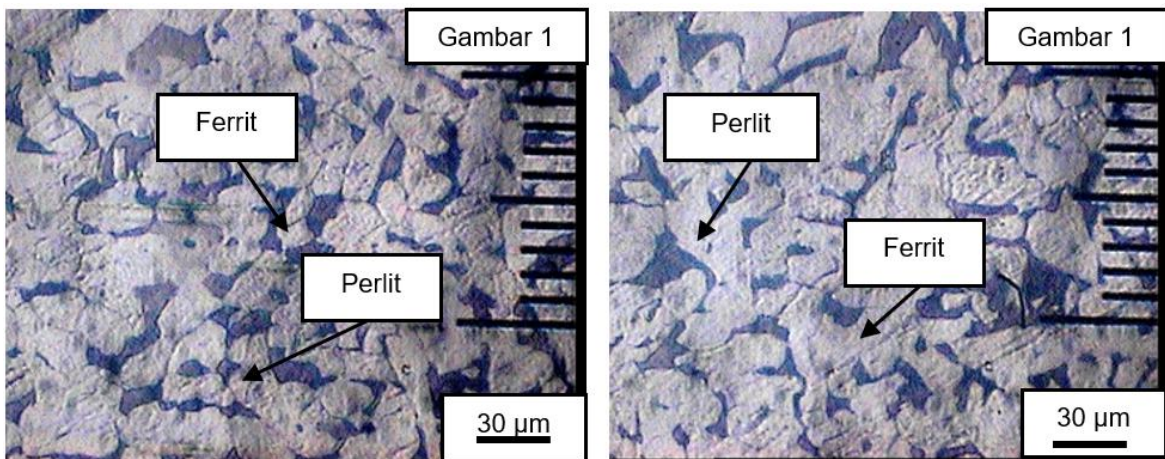
Proses pengelasan dilakukan di workshop PT. Mitra Enggal Mandiri dengan metode pengelasan SMAW. Sebelum melakukan proses pengelasan benda kerja terlebih dahulu dibuatkan kampuh berbentuk V dengan sudut kampuh 60° menggunakan mesin milling. Setelah itu benda kerja di las ikat dengan plat pendukung sebagai penguat benda kerja agar disaat melakukan proses pengelasan benda tidak terjadi distorsi akibat panas pengelasan.



Gambar 3. Pengamatan Visual Sesudah Las Tampak Depan (*Capping*)

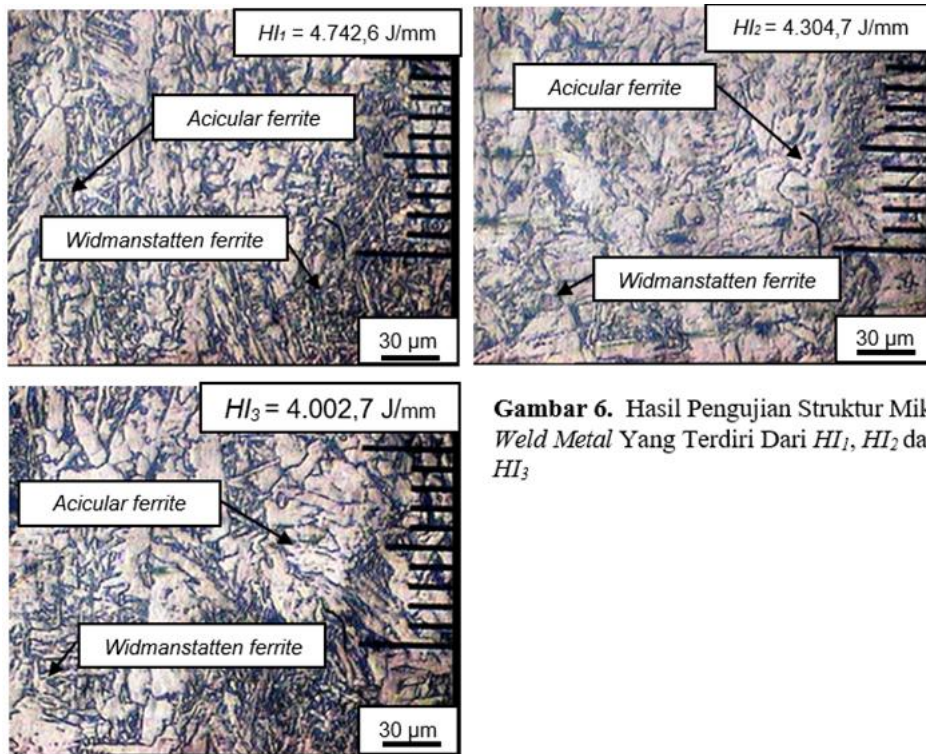


Gambar 4. Pengamatan Visual Sesudah Las Tampak Belakang (*Tembusan*)



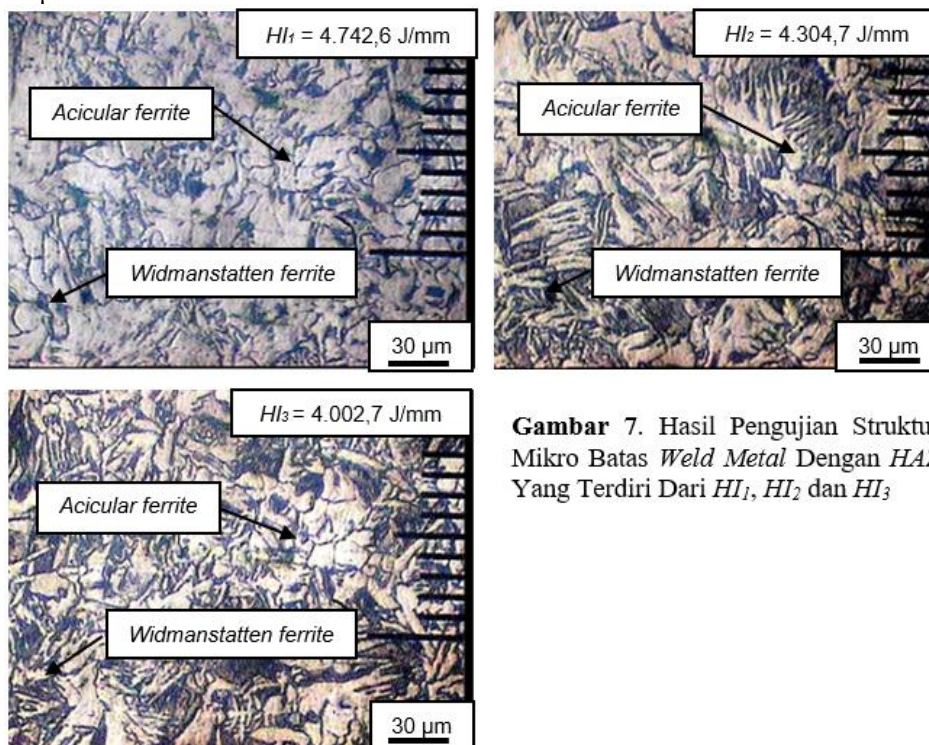
Gambar 5. Mikro Pembesaran Lensa 100x (*Raw Material*)

Penelitian ini menggunakan variasi *heat input* dengan tiga spesimen, masing-masing spesimen menggunakan tiga jenis arus yang berbeda, diantaranya; 115A, 120A dan 125A dengan ukuran benda kerja panjang 300 mm, lebar 200 mm dan tebal 12 mm.



Gambar 6. Hasil Pengujian Struktur Mikro *Weld Metal* Yang Terdiri Dari HI_1 , HI_2 dan HI_3

Adanya komposisi kimia dan perbedaan kecepatan pendinginan karena panas pengelasan, yang menyebabkan struktur mikro didominasi perlit *intermetallic compound* (IMC) dibanding yang lainnya dengan ukuran butir sekitar 35-40 µm.



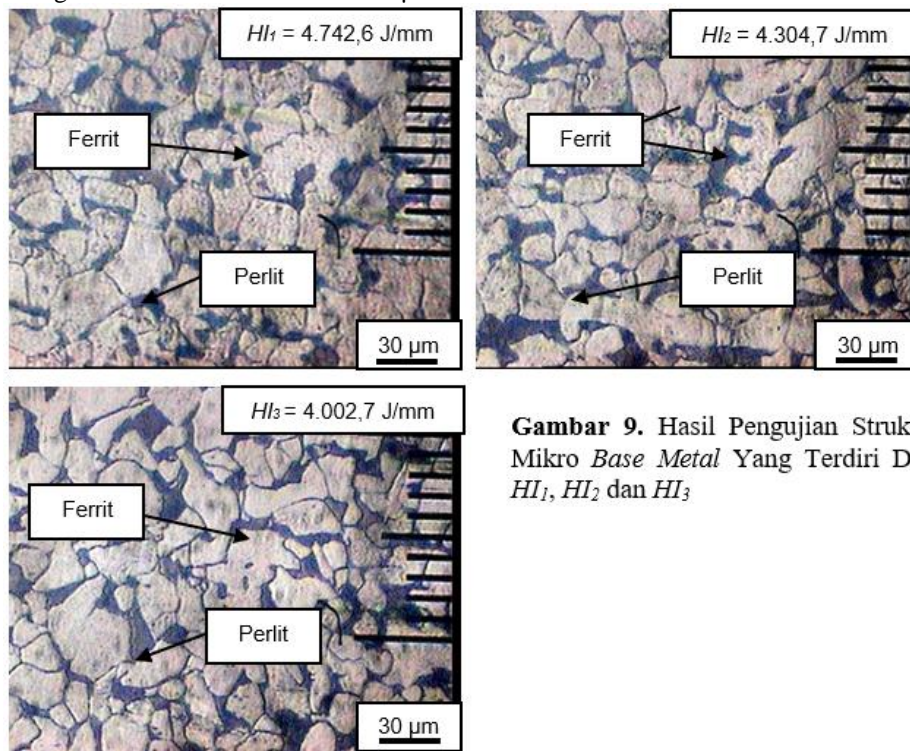
Gambar 7. Hasil Pengujian Struktur Mikro Batas *Weld Metal* Dengan HAZ Yang Terdiri Dari HI_1 , HI_2 dan HI_3

Struktur mikro didaerah batas *weld metal* dengan HAZ didominasi oleh struktur *Acicular ferrite* dan *Widmanstätten ferrite* dibanding dengan *intermetallic compound* (IMC) dengan ukuran butir sekitar 25-35 µm.



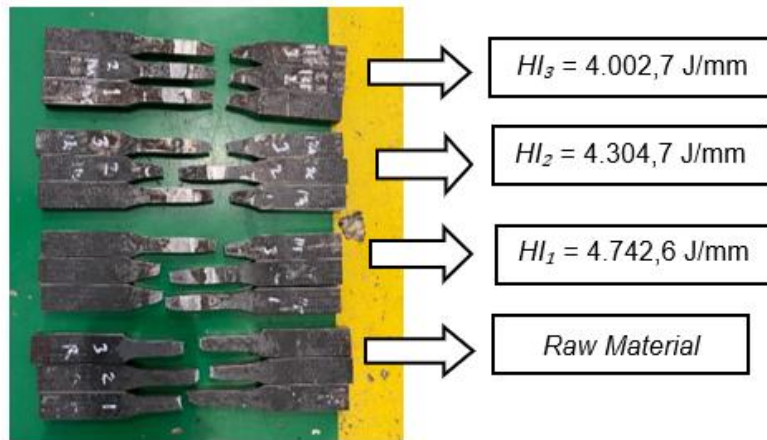
Gambar 8. Hasil Pengujian Struktur Mikro HAZ Halus Yang Terdiri Dari HI_1 , HI_2 dan HI_3 .

Pada daerah ini lebih dominan kebutiran berwarna putih (ferrit) dan berbentuk butiran sangat halus pada daerah logam induk dengan ukuran butir rata-rata 10-15 µm.



Gambar 9. Hasil Pengujian Struktur Mikro Base Metal Yang Terdiri Dari HI_1 , HI_2 dan HI_3

Struktur mikro menunjukkan ukuran butir pada daerah *base metal*, akan berpengaruh terhadap kekuatan dan semakin besar ukuran butir maka tingkatan kekerasan akan menurun.



Gambar 10. Hasil Pengujian Tarik *Raw Material*, HI_1 , HI_2 dan HI_3

Benda kerja hasil uji tarik *raw material* HI_1 , HI_2 dan HI_3 mengalami hasil yang sangat stabil, hal tersebut dikarenakan pada saat proses pengelasan, pemilihan parameter yang baik.

Tabel 3. Hasil Uji Tarik

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Tegangan Rata" (MPa)	Regangan (%)	Regangan Rata" (%)
1	Raw-1	11.68	12.64	64.11	21.59	434.25	457.10	43.18	40.90
2	Raw-2	11.78	11.53	63.64	20.28	468.55		40.56	
3	Raw-3	11.71	11.58	63.54	19.49	468.58		38.98	
4	115A_1	11.74	12.46	65.64	17.69	448.73	473.40	35.38	34.70
5	115A_2	11.72	11.78	66.79	17.30	483.77		34.60	
6	115A_3	11.76	11.45	65.67	17.09	487.70		34.18	
7	120A_1	11.73	12.48	66.20	16.96	452.22	478.90	33.92	34.10
8	120A_2	11.83	11.38	66.29	17.29	492.40		34.58	
9	120A_3	11.71	11.37	65.50	16.90	491.95		33.80	
10	125A_1	11.58	11.66	66.43	14.91	491.99	493.70	29.82	32.00
11	125A_2	11.67	11.75	66.91	16.38	487.96		32.76	
12	125A_3	11.68	11.29	66.08	16.67	501.11		33.34	

Pada arus 115A memiliki nilai tegangan tertinggi di sampel tiga yaitu 487,70 MPa dengan regangan 34,18%, berikutnya arus 120A nilai teganga 492,40 MPa dengan regangan 34,58% dan arus 125A memiliki nilai tegangan tertinggi di sampel tiga 501,11 MPa dengan regangan 33,34%. Dari hasil rata-rata dari nilai tegangan dan regangan arus 125A memiliki nilai tegangan tertinggi dari arus lainnya yaitu di angka 493,7 MPa dengan nilai regangan terkecil di angka 32,0%.

Berikut ini terdapat rumus tegangan tarik dan regangan :

Tegangan tarik dapat dihitung dengan persamaan (1) sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A_o} (N/mm^2) \quad (1)$$

Dimana,

P : Gaya maksimal (N)

A_o : Luas Penampang Semula (mm^2)

σ : Tegangan yang dihitung (N/mm^2)

Regangan dapat dihitung dengan persamaan (2) sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{L-L_o}{L_o} \times 100\% \text{ atau } \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\% \quad (2)$$

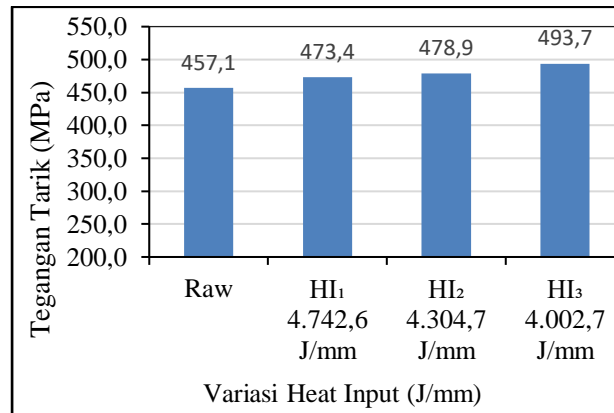
Dimana :

ε : Regangan

L : Panjang akhir (mm)

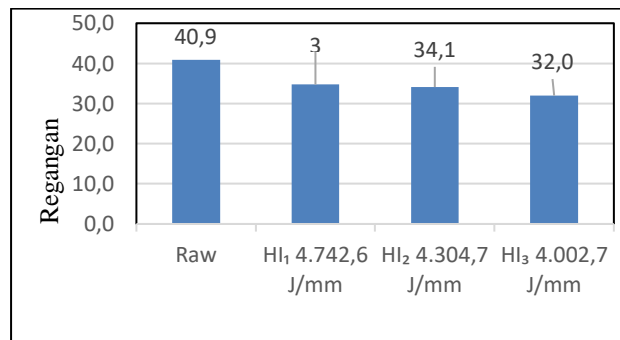
L_o : Panjang awal (mm)

ΔL : Penambahan panjang (mm) [5]



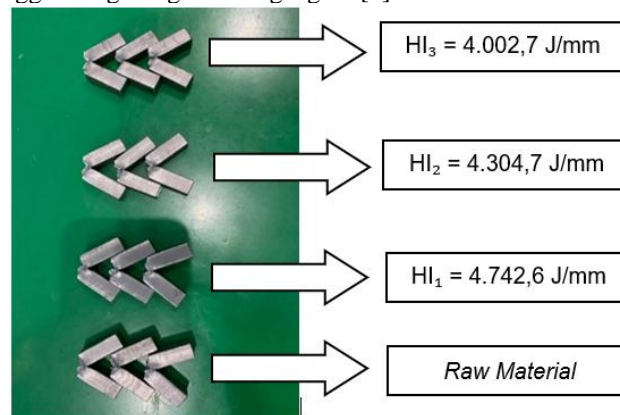
Gambar 11. Hasil Tegangan Tarik Rata-rata

Pada tegangan tarik rata-rata hasil HI_3 mengalami kenaikan drastis dibandingkan dengan *raw material* mungkin karena hasil kekuatan tarik pada *weld metal* yang cukup baik dari logam induk. Sedangkan hasil regangan tarik rata-rata pada *weld metal* mengalami penurunan karena pengaruh pengelasan. Dalam sambungan las sifat tarik dipengaruhi oleh sifat-sifat logam induk.. [6]



Gambar 12. Grafik Regangan Tarik Rata-Rata

Hal tersebut disebabkan dari beberapa faktor yang mempengaruhi seperti, arus las yang lebih besar menghasilkan suhu lebih tinggi pada daerah las, disaat logam las mendingin setelah proses pengelasan laju pendinginan menjadi lebih cepat yang dapat menyebabkan terbentuknya fasa *martensit* yang lebih keras tetapi kurang ulet sehingga mengurangi nilai regangan. [7]



Gambar 13. Hasil Pengujian *Impact Raw Material*, HI_1 , HI_2 dan HI_3

Pada pengelasan *SMAW*, benda kerja yang tidak putus pada uji *impact* dapat disebabkan oleh kombinasi faktor-faktor seperti teknik pengelasan yang tepat, kualitas sambungan las, pemilihan elektroda yang tepat.



Tabel 4. Hasil Uji Impact

No.	Variasi Spesimen	Sudut α (°)	Energi (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Harga Impact (J/mm ²)	Harga Impact Rata-rata (J/mm ²)
1	Raw-1	151	300	97.25	119.7	82.1	1.458	1.539
2	Raw-2	151	300	93.50	130.2	83.2	1.564	
3	Raw-3	151	300	93.00	131.6	82.5	1.596	
4	115A_1	151	300	73.00	186.7	83.1	2.246	2.367
5	115A_2	151	300	67.75	200.5	83.3	2.408	
6	115A_3	151	300	66.50	203.7	83.3	2.446	
7	120A_1	151	300	68.50	198.6	82.3	2.413	2.337
8	120A_2	151	300	72.75	187.4	82.7	2.266	
9	120A_3	151	300	70.00	194.7	83.5	2.332	
10	125A_1	151	300	66.00	205.0	83.8	2.447	2.291
11	125A_2	151	300	73.00	186.7	83.2	2.244	
12	125A_3	151	300	74.00	184.0	84.3	2.183	

Hasil rata-rata dari harga *impact* menunjukkan hasil yang lebih baik pada arus 115A dibandingkan dengan arus lainnya dengan nilai rata-rata 2.367 J/mm² kemudian pada arus 120A dengan nilai rata-rata 2.337 J/mm² dan terakhir pada arus 125A dengan nilai rata-rata 2.291 J/mm².

Energi *impact* dapat dihitung dengan persamaan (3) sebagai berikut :

$$E = m \cdot g \cdot h \tag{3}$$

Dimana :

- E : Energi impak (Joule)
- m : Massa pendulum (kg)
- g : Percepatan gravitasi (m/s², biasanya 9.81 m/s²)
- h : Tinggi jatuh pendulum sebelum mengenai sampel (m)

Energi yang diserap oleh material selama benturan dapat dihitung dengan persamaan (4) sebagai berikut :

$$E_{absorbed} = E_0 - E_f \tag{4}$$

Dimana :

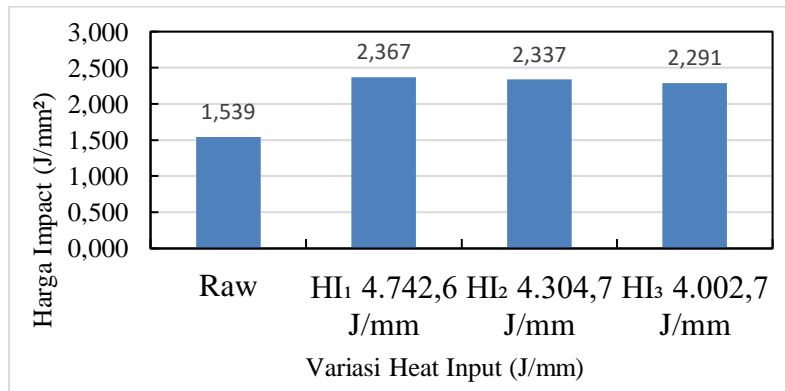
- $E_{absorbed}$: Energi yang diserap
- E_0 : Energi setelah benturan
- E_f : Energi sebelum benturan

Koefisien ketangguhan dapat dinyatakan sebagai energi yang diserap per unit volume material :

$$Toughness = \frac{E_{absorbed}}{V} \tag{5}$$

Dimana :

- V : volume sampel (m³)



Gambar 14. Hasil Harga Uji *Impact* Rata-rata

Pada grafik hasil harga uji *impact* rata-rata memiliki hasil yang baik pada HI_1 dibandingkan dengan HI_2 dan HI_3 artinya semakin besar arus semakin kacil harga uji *impact* suatu benda. Ini terjadi karena perubahan mikrostruktur, tegangan sisa, dan cacat las akibat pemanasan yang lebih tinggi. [8]

KESIMPULAN

Hasil pengelasan dari beberapa spesimen yaitu specimen pertama dengan arus 115A menghasilkan *heat input* sebesar 4.742,6 J/mm, specimen kedua dengan arus 120A menghasilkan *heat input* sebesar 4.304,7 J/mm dan specimen ketiga dengan arus 125A menghasilkan *heat input* sebesar 4.002,7 J/mm. Dari hasil pengujian uji komposisi terdapat perbedaan di *raw material* dan *weld metal*. Pada *raw material* lebih banyak unsur (Fe) dibanding *weld metal*. Kemudian berdasarkan hasil struktur mikro dapat disimpulkan bahwa panas proses pengelasan sangat mempengaruhi perubahan struktur mikro pada *weld metal*. Hasil pengujian Tarik pada arus 125A mempunyai nilai rata-rata yang lebih baik di bandingkan dengan arus 120A dan arus 115A yaitu di angka 493,7 MPa lalu di urutan kedua arus 120A di angka 478,9 MPa kemudian arus 115A di angka 473,4 MPa dan terakhir di *raw material* di angka 457,1 MPa. Hasil pengujian *Impact* pada arus 115A mempunyai nilai rata-rata yang lebih baik di bandingkan dengan arus 120A dan arus 125A yaitu di angka 2,367 j/mm² lalu di urutan kedua arus 120A di angka 2,337 j/mm² kemudian arus 125A di angka 2,291 dan terakhir di *raw material* di angka 1,539 j/mm².

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Mitra Enggal Mandiri yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian dan telah menyediakan bahan dan alat untuk proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kepada Politeknik Manufaktur Ceper, Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada dan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta yang telah mengizinkan dan menyediakan tempat untuk penulis melakukan pengujian material dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ngatin, S. (2017). Baja karbon rendah: Sifat dan aplikasinya. *Jurnal Teknologi Material*, 12(2), 123-135.
 - [2] Mulyuda, A., & Mulyanto, T. (2017). *Karakteristik dan Aplikasi Baja Karbon SS400 dalam Industri*. Yogyakarta: Penerbit Teknik.
 - [3] Kuswanto, H. (2010). *Material Teknik: Baja Karbon SS400 dan Aplikasinya*. Jakarta: Penerbit Teknik.
 - [4] Atha Fazadima, Herman Pratikno, dan Hasan Ikhwan. Analisis Pengaruh Variasi Heat Input terhadap Uji Impact, Uji Metalografi, dan Laju Korosi pada Pengelasan SMAW Sambungan Pelat Baja A36 dengan Baja Structural Steel 400 (SS400). *Jurnal Teknik ITS* 2022.
 - [5] Setiaji, R. 2009. *Pengujian Tarik*. Jakarta: Laboratorium Metalurgi Fisik FTUI.
 - [6] Valla Yuntan Fauzi Romdhoni, Fadelan dan Yoyok Winardi. Pengaruh Heat Input Terhadap Hasil Kekuatan Sambungan Pengelasan SMAW Pada Material Stainles Steel 201. *Jurnal Komputek* 2019.
 - [7] Khotasa, M. 2016." Analisis Pengaruh Variasi Arus dan Bentuk Kampuh Pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Impact Sambungan Butt Joint padaPelat Baja A36". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
 - [8] Santoso, T. B., Solichin, & Hutomo, P. T. (2015). Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Las SMAW dengan Pengujian Merusak (Destructive Testing). Jakarta: Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
-