



## Dampak Nilai *Hardness* berdasarkan Parameter *Heat Input* pada Proses Pengelasan GTAW untuk Material *Superduplex Stainless Steel S32750*

Benny Haddli Irawan<sup>1\*</sup>, Ihsan Saputra<sup>2</sup>, M. Ardiyansyah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam  
benny@polibatam.ac.id

### Abstract

In this sophisticated era, the metal manufacturing process cannot be separated from welding process. Welding is a process of joining two metals using electrodes or filler metals which are commonly used in the world of fabrication and industry. Heat energy greatly affect the quality of the weld. Three parameter in heat energy is Ampere, Voltage and Heat input. The purpose of this study was to determine the effect of heat input to value of hardness on materials Superduplex Stainless Steel S32750 with GTAW process welding. The hardness of the material is very important to determine the resistance of a material. In the fabrication process there are still material that have a hardness value that exceeds the standard value of the material manufacture. The welding process is carried out from root, hotpass, fill pass and capping with five variations of heat input to five the specimen of the test object, then do the hardness test with Vickers with a test kit portable UCI Sonodur 3. The hardness test carried out on weld metal, base metal and heat affected zone. From the analysis carried out with five variations of heat input and comparing the hardness values at each test location, a low heat input of 0.97 kJ/mm resulted in the highest average hardness value of 299.2 HV in the base metal area, the area exposed to heat (HAZ) of 265.9 HV, and the weld metal area of 229.5 HV. Based on this, it can be concluded that the hardness value in GTAW welding with low heat input has the highest hardness value compared to high heat input.

Keywords: welding, heat input, hardness, HAZ, vickers

### Abstrak

Di era serba canggih ini proses pembuatan logam yang dilakukan tidak lepas dari proses pengelasan. Pengelasan merupakan proses penyambungan dari dua buah logam dengan menggunakan elektroda atau logam pengisi (filler metal) yang biasa digunakan di dunia fabrikasi dan industri. Energi panas sangat berpengaruh terhadap kualitas pengelasan. Tiga parameter yang ada pada energi panas tersebut adalah kuat arus (A), tegangan (V) dan *heat input*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *heat input* terhadap nilai kekerasan (*hardness*) pada material *Superduplex Stainless Steel S32750* dengan proses pengelasan GTAW. Kekerasan pada material sangatlah penting untuk mengetahui ketahanan sebuah material. Dalam proses fabrikasinya masih terdapat material yang memiliki nilai *hardness* melebihi nilai standar dari manufaktur material tersebut. Proses pengelasan dilakukan dari *Root*, *Hotpass*, *Fill pass* hingga *Capping* dengan lima variasi *heat input* terhadap lima sampel sambungan dalam sebuah *pipe spool*, kemudian dilakukan pengujian kekerasan dengan menggunakan *Vickers* dengan alat uji Portable UCI Sonodur 3. Pengujian kekerasan dilakukan pada lokasi permukaan daerah logam las (*weld metal*), logam induk (*base metal*), dan daerah yang dipengaruhi panas (*Heat Affected Zone/ HAZ*). Dengan variasi *heat input* yang digunakan selanjutnya dilakukan pengujian *hardness*. Dari analisa yang dilakukan dengan lima variasi *heat input* dan membandingkan nilai *hardness* pada masing-masing lokasi uji, *heat input* rendah yaitu 0.97 kJ/mm menghasilkan nilai rata-rata *hardness* tertinggi sebesar 299.2 HV pada daerah logam induk (*base metal*), daerah terpengaruh panas (HAZ) sebesar 265.9 HV, dan daerah logam las (*weld metal*) sebesar 229.5 HV. Berdasarkan hal tersebut maka dapat disimpulkan bahwa nilai *hardness* pada pengelasan GTAW dengan *heat input* rendah memiliki nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan *heat input* tinggi.

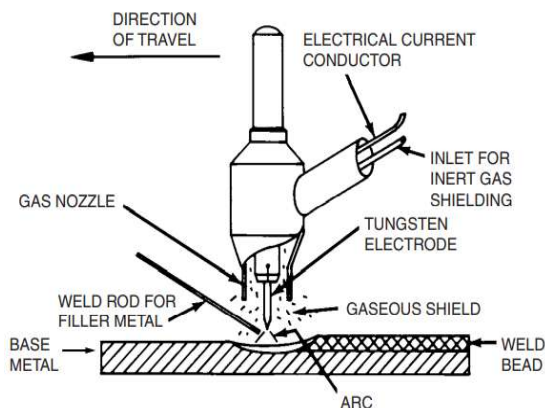
Kata kunci: pengelasan, *heat input*, *hardness*, HAZ, vickers

### 1. Pendahuluan

Fabrikasi logam adalah proses pembuatan logam yang meliputi desain (*design*), pemotongan, pembentukan,

perakitan (*assembly*), atau *finishing*[1]. Metode fabrikasi logam biasanya didahului dengan proses pemurnian, paduan, dan biasanya perlakuan panas ini memiliki tujuan untuk menghasilkan paduan dengan

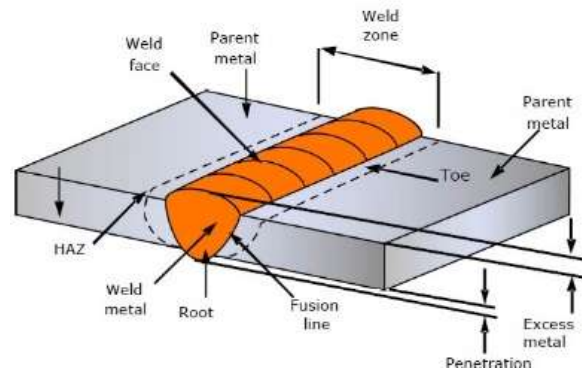
sifat yang diinginkan. Adapun teknik manufaktur yang digunakan dalam fabrikasi mencakup berbagai metode pembentukan logam, pengecoran, metalurgi serbuk pemesinan dan pengelasan. Pengelasan adalah penyambungan setempat dari beberapa logam dengan menggunakan energi panas untuk mencairkan logam. Secara umum proses pengelasan yang biasa digunakan di fabrikasi adalah SMAW (*Shielded Metal Arc Metal*), SAW (*Submerged Arc Welding*), GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), FCAW (*Flux Core Arc Welding*), dan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*). *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) atau *Tungsten Inert Gas* (TIG) adalah pengelasan *gas tungsten arc*, elektroda digunakan sebagai penyala atau pengumpan busur nyala api[2]. Banyak paduan logam yang dapat di las menggunakan GTAW dan lebih fleksibel karena dapat menggunakan atau tanpa logam pengisi (*Filler metal*). Pada proses pengelasan GTAW atau TIG yang ditunjukkan pada Gambar 1, elektroda tidak digunakan seperti pada proses las listrik. Proses las TIG umumnya menghasilkan las yang lebih baik dibandingkan dengan proses las lainnya. Keuntungannya yaitu dapat mengelas logam aluminium.



Gambar 1. Pengelasan GTAW

Kualitas sebuah hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas, yang artinya dipengaruhi oleh tiga parameter yaitu arus las (*ampere*), tegangan las (*voltase*) dan kecepatan las (*travel speed*)[3]. Rasio dari tiga parameter memberikan energi pengelasan disebut sebagai *Heat Input*. Pada proses pengelasan, *heat input* yang kecil akan menyebabkan penetrasi yang kurang dalam serta meningkatkan nilai *hardness* pada material. Sedangkan nilai *heat input* yang terlalu besar menyebabkan timbulnya keretakan pada daerah yang terkena panas, menurunkan ketangguhan dan mengurangi kekuatan luluh. Pengujian kekerasan (*hardness test*) merupakan proses yang bertujuan untuk menentukan ketahanan terhadap deformasi material di area lokal atau permukaan material[4]. Uji kekerasan biasa juga digunakan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas dan dingin pada material. Gambaran dari perubahan kekuatan pada material setelah diberi perlakuan panas dan dingin diukur

dengan pengujian kekerasan pada permukaan material. Pengujian kekerasan itu sendiri dilakukan pada daerah logam las (*weld metal*), logam induk (*base metal*) dan daerah yang dipengaruhi panas (*HAZ*). Gambar 2 di bawah ini merupakan Gambar dari bagian pengelasan *butt weld* yang terdiri dari HAZ (daerah yang dipengaruhi panas), *weld face* (permukaan las), *parent metal* (logam induk), *weld metal* (logam las), *root*, *fusion line*, *toe*, *penetration*, *excess metal*, dan *weld zone* (zona las) yang dimana terdiri dari HAZ, *weld metal*, dan HAZ.



Gambar 2. Bagian Pengelasan *Butt Weld*

Secara umum pengujian kekerasan menggunakan tiga macam metode pengujian keras, yakni Brinell, Rockwell, dan Vickers. Uji kekerasan ini berupa, sebuah lekukan dibentuk pada permukaan logam dengan menggunakan bola baja yang dikeraskan dan kemudian ditekan di bawah dengan beban tertentu[5]. Biasanya beban diaplikasikan dalam jangka waktu 30 detik dan diameter lekukan diukur di bawah mikroskop setelah beban dihilangkan.

Dalam pengujian *hardness* permukaan material harus relative halus dan bebas dari debu atau kerak[6]. Metode pengujian kekerasan Vickers ini menggunakan lekukan piramida intan, yang pada dasarnya kotak[7]. Sudut antara sisi berlawanan dari piramida adalah  $136^\circ$ . Pengujian Vickers ini biasa disebut dengan uji kekerasan piramida intan, karena bentuk piramida intan. Nilai kekerasan disebut dengan kekerasan HV atau VHN (*Vickers Hardness Number*)[8].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi *heat input* terhadap nilai *hardness* pada material *superduplex stainless steel* S32750, apakah dengan adanya variasi *heat input* itu akan membuat nilai *hardness* bervariasi. Dalam pengujian ini, metode yang digunakan penulis adalah metode vickers dengan alat uji portable UCI MOBILE Sonodur 3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini. Penggunaan alat tersebut digunakan pada PT. X untuk pengujian kekerasan pada saat proses fabrikasi. Alat yang digunakan telah dikalibrasi oleh PT. Fareastcalibration and Testing Service sehingga dapat dijamin keakuratannya.



Gambar 3. Portable UCI MOBILE Sonodur 3

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan mengumpulkan beberapa data yaitu berupa parameter pengelasan GTAW, dimensi material *Superduplex Stainless Steel* S32750, komposisi kimia material, sifat mekanik, dan variasi *heat input*, serta teknik analisa data dan pembahasan.

### 2.1. Parameter Pengelasan GTAW

Parameter yang digunakan selama proses pengelasan akan berpengaruh terhadap kualitas dari sebuah lasan. Pengelasan dilakukan dari proses *Root*, *Hotpass*, *Fill* dan *Capping*. Parameter pengelasan GTAW yang digunakan mengacu pada WPS (*Welding Procedure Specifications*) pada PT. X yang telah mendapat persetujuan dari *Welding Engineer* sebagai pedoman selama proses pengelasan. Tabel 1 di bawah ini merupakan WPS (*welding procedure specification*) yang digunakan sebagai acuan dalam proses pengelasan.

Tabel 1. *Welding Procedure Specification* (WPS) GTAW

Run No.	Ampere	Volts	Welding Speed	Heat Input kJ/mm
Root	56-77	9-12	43-47	0.64-1.29
Hotpass	80-100	9-12.5	76-85	0.51-0.99
Fill	80-120	9-12.5	70-85	0.51-1.29
Cap	80-120	9-12.5	70-85	0.51-1.29

### 2.2. Dimensi Material *Superduplex Stainless Steel* S32750

Dimensi dari pipa *Superduplex Stainless Steel* S3270 dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Dimensi Pipa *Superduplex Stainless Steel*

Ukuran Pipa	6 Inchi
Diameter Luar	168.3mm
Ketebalan	3.40mm
Panjang	7000mm

### 2.3. Komposisi Kimia Material

Komposisi kimia logam sangatlah penting untuk memastikan kualitas sebuah material. Dalam pengujian ini material yang digunakan yaitu baja paduan, yang tahan terhadap korosi. Pada Tabel 3 di bawah ini menunjukkan persentase komposisi kimia dari material *Superduplex Stainless Steel* dimana untuk persentase maksimal komposisi Carbon (C) sebesar 0.03%, Mangan (Mn) 1.20%, Silicon (Si) 0.80%, Fosfor (P) 0.020%, Nikel (Ni) 0.035%, Cromium (Cr) 8%, Molybdenum (Mo) 25%, Nitrogen 0.32% dan Cuprum (Cu) 0.50%.

Tabel 3. Komposisi Kimia Material 006C

	Min.	Max.
C (%)		0,03
Mn (%)		1,20
Si (%)		0,80
P (%)		0,020
Ni (%)		0,035
Cr (%)	6,0	8,0
Mo (%)	24,0	25,0
N (%)	0,24	0,32
Cu (%)		0,50

### 2.4. Sifat Mekanik

*Superduplex stainless steel* S32750 merupakan *grade superduplex* paling banyak di pasaran. S32750 adalah baja paduan yang tahan karat yang di rancang khusus untuk digunakan di lingkungan yang mengandung klorida yang agresif. Material ini memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi lokal dan retak korosi tegangan dalam kombinasi dengan kekuatan mekanik yang tinggi. Pada Table 4 dibawah ini menunjukkan nilai dari sifat mekanik material yang digunakan pada pengujian ini. Dalam Tabel tersebut menunjukkan nilai *yield strength* min 550 Mpa setelah dilakukan pengujian didapatkan nilai *yield strength* sebesar 685 Mpa, nilai *tensile strength* min 500 Mpa setelah pengujian didapatkan nilai *tensile strength* sebesar 870 Mpa, *elongation* min 15% setelah pengujian didapatkan nilai dari *elongation* sebesar 37% dan untuk nilai *hardness* max 318 HV setelah dilakukan tiga kali pengujian didapatkan nilai satuan *hardness* sebesar 277 HV, 276 HV, dan 274 HV.

Tabel 4. Sifat Mekanik Material *Superduplex Stainless Steel* S32750 berdasarkan *Mill Certificate*

<i>Yield Strength</i> (0.2%) <i>Rp 0.2</i> (Mpa)	<i>Tensile Strength</i> <i>Rm</i> (Mpa)	<i>Elongation</i> A (%)	<i>Hardness</i> HV10
Min 550	Min 500	Min 15	Max 318
685	870	37	277/276/274

### 2.5. Variasi *Heat Input*

Perhitungan *heat input* diukur dari Ampere, tegangan dan kecepatan pengelasan menggunakan alat yaitu *clamp ampere* sebagai alat untuk mengukur *ampere* dan tegangan. *heat input* sangat berpengaruh terhadap

nilai *hardness* pada suatu material. Perhitungan *heat input* pada pengelasan dapat dituliskan menggunakan persamaan berikut[9] :

$$HI = \frac{V \times I \times 0,06}{Travel\ Speed} \quad (1)$$

Dimana :

HI = Masukan panas (kJ/mm)

V = Tegangan pengelasan (Volt)

I = Arus las (Ampere)

Travel Speed = Kecepatan pengelasan (mm/min)

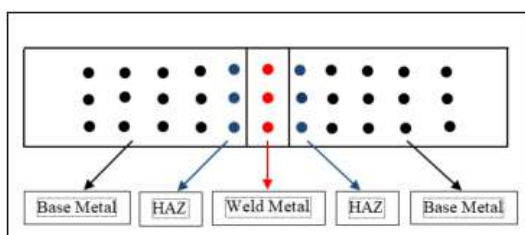
Dengan kuat arus 115A, tegangan 12V dan variasi *travel speed* yang digunakan yang mengacu pada WPS, maka akan didapat nilai variasi *heat input* pada proses pengelasan seperti Tabel 5 dibawah ini, dimana untuk *travel speed* 71 mm/Min, *heat input* yang didapatkan sebesar 1.16 kJ/mm, *travel speed* 75 mm/Min, *heat input* yang didapatkan sebesar 1.10 kJ/mm, *travel speed* 78 mm/Min, *heat input* yang didapatkan sebesar 1.06 kJ/mm, *travel speed* 83 mm/Min, *heat input* yang didapatkan sebesar 0.99 kJ/mm, dan *travel speed* 85 mm/Min, *heat input* yang didapatkan sebesar 0.97 kJ/mm, yang artinya bahwa semakin rendah *travel speed* maka *heat input* yang dihasilkan akan semakin tinggi, begitupun sebaliknya.

## 2.6. Pengujian Hardness

Dari variasi *heat input* yang digunakan dalam proses pengelasan kemudian akan dilakukan pengujian *hardness* untuk mencapai tujuan dari penelitian. Adapun metode pengujian *hardness* menggunakan metode Vickers dengan alat uji *portable* UCI Sonodur 3. Untuk pengujian *hardness* dilakukan sebanyak tiga kali pengujian di tiga lokasi uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Titik-titik merah merupakan daerah logam las (*weld metal*), titik-titik biru merupakan daerah terpengaruh panas (HAZ), dan titik-titik hitam menunjukkan logam induk (*base metal*). Untuk *heat input* merupakan nilai dari lima variasi *heat input* yang digunakan dalam pengujian yang terdiri dari 1.16 kJ/mm, 1.10 kJ/mm, 1.06 kJ/mm, 0.99 kJ/mm dan 0.97 kJ/mm.

Tabel 5. Nilai Travel Speed dan Heat Input

No	Travel Speed	Heat input
1	71 mm/Min	1.16 kJ/mm
2	75 mm/Min	1.10 kJ/mm
3	78 mm/Min	1.06 kJ/mm
4	83 mm/Min	0.99 kJ/mm
5	85 mm/Min	0.97 kJ/mm



Gambar 4. Lokasi Uji Hardness [10]

## 3. Hasil dan Pembahasan

Setelah diperoleh data selanjutnya akan dilakukan pengolahan hasil data dan pembahasan. Pengolahan hasil data dilakukan dengan cara mengolah data-data yang sudah terkumpul. Proses analisa data yang dilakukan adalah dengan cara memasukkan ke dalam persamaan yang ada sehingga didapatkan data berupa rata-rata dari nilai *hardness* yang mengalami variasi *heat input*. Analisa dan pembahasan ini akan dibuat dalam bentuk grafik yang menjelaskan perbandingan antara nilai *hardness* terhadap variasi *heat input*. Dari proses pengumpulan data yang telah dilakukan, selanjutnya dilakukan pengujian *hardness* menggunakan alat uji *portable* UCI Sonodur 3 pada lokasi uji yang telah ditentukan. Pengujian *hardness* ini dilakukan sebanyak tiga kali pengujian pada masing-masing lokasi uji yaitu daerah logam las (*weld metal*), daerah terpengaruh panas (HAZ), dan logam induk (*base metal*).

### 3.1 Hasil Pengujian Hardness

Pada Tabel 6 terlihat hasil pengujian *hardness* dengan lima variasi *heat input* dengan tiga kali pengujian di masing-masing lokasi uji. Dari hasil pengujian *hardness* Vickers dengan *heat input* 1.16 kJ/mm didapatkan hasil rata-rata nilai *hardness* pada daerah terpengaruh panas (HAZ) sebesar 212.2 HV, pada daerah logam las (*weld metal*) sebesar 206.3 HV dan pada logam induk (*base metal*) sebesar 252.9 HV, dengan *heat input* 1.10 kJ/mm didapatkan hasil rata-rata nilai *hardness* pada daerah terpengaruh panas (HAZ) sebesar 219.4 HV, pada daerah logam las (*weld metal*) sebesar 208.8 HV dan pada logam induk (*base metal*) sebesar 263.4 HV, dengan *heat input* 1.06 kJ/mm didapatkan hasil rata-rata nilai *hardness* pada daerah terpengaruh panas (HAZ) sebesar 238.3 HV, pada daerah logam las (*weld metal*) sebesar 211.7 HV dan pada logam induk (*base metal*) sebesar 281.2 HV, dengan *heat input* 0.99 kJ/mm didapatkan hasil rata-rata nilai *hardness* pada daerah terpengaruh panas (HAZ) sebesar 244.2 HV, pada daerah logam las (*weld metal*) sebesar 225.8 HV dan pada logam induk (*base metal*) sebesar 288.0 HV, dan dengan *heat input* 0.97 kJ/mm didapatkan hasil rata-rata nilai *hardness* pada daerah terpengaruh panas (HAZ) sebesar 265.9 HV, pada daerah logam las (*weld metal*) sebesar 229.5 HV dan pada daerah logam induk (*base metal*) sebesar 299.2 HV

Tabel 6. Data Pengujian *Hardness* dengan Variasi *Heat Input*

Identifikasi Sampel Hasil	Lokasi Uji	Nilai <i>Hardness</i>			Nilai <i>Hardness</i> Rata-rata	
		Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3		
<i>Heat Input</i> 1	1.16 kJ/mm	HAZ	210.4 HV	210.1 HV	216.2 HV	212.2 HV
		<i>Weld Metal</i>	201.8 HV	202 HV	215 HV	206.3 HV
		<i>Base Metal</i>	277.1 HV	236.3 HV	245.3 HV	252.9 HV
<i>Heat Input</i> 2	1.10 kJ/mm	HAZ	218.5 HV	218.6 HV	221.2 HV	219.4 HV
		<i>Weld Metal</i>	209.2 HV	210.9 HV	206.3 HV	208.8 HV
		<i>Base Metal</i>	267.5 HV	255.9 HV	266.9 HV	263.4 HV
<i>Heat Input</i> 3	1.06 kJ/mm	HAZ	250.5 HV	237.3 HV	227 HV	238.3 HV
		<i>Weld Metal</i>	209.2 HV	219.6 HV	206.3 HV	211.7 HV
		<i>Base Metal</i>	286.1 HV	266.5 HV	290.9 HV	281.2 HV
<i>Heat Input</i> 4	0.99 kJ/mm	HAZ	240 HV	236.7 HV	256 HV	244.2 HV
		<i>Weld Metal</i>	243.8 HV	240.6 HV	193.1 HV	225.8 HV
		<i>Base Metal</i>	295.3 HV	283.6 HV	285.1 HV	288.0 HV
<i>Heat Input</i> 5	0.97 kJ/mm	HAZ	290.5 HV	240.3 HV	266.8 HV	265.9 HV
		<i>Weld Metal</i>	219.7 HV	211.4 HV	257.4 HV	229.5 HV
		<i>Base Metal</i>	298.9 HV	300.3 HV	298.3 HV	299.2 HV

Dapat kita lihat bahwa nilai *hardness* pada lokasi daerah terpengaruh panas (HAZ) mengalami peningkatan. Nilai rata-rata dari masing-masing pengujian pada daerah terpengaruh panas (HAZ) tersebut adalah 212.2 HV, 219.4 HV, 238.3 HV, 244.2 HV dan 265.9 HV. Pengujian *hardness* yang dilakukan pada lokasi logam las (*weld metal*) memiliki nilai *hardness* yaitu 206.3 HV, 208.8 HV, 211.7 HV, 225.8 HV, dan 229.5 HV. Namun nilai *hardness* pada lokasi logam las (*weld metal*) ini lebih rendah dibandingkan nilai *hardness* pada lokasi daerah terpengaruh panas (HAZ). Pengujian pada logam induk (*base metal*) dapat kita analisa bahwa nilai rata-rata *hardness* mengalami peningkatan yang signifikan dan lebih tinggi dibandingkan pada lokasi daerah terpengaruh panas (HAZ) dan logam las (*weld metal*). Nilai rata-rata *hardness* pada logam induk (*base metal*) yaitu 252.9 HV, 263.4 HV, 281.2 HV, 288.0 dan 299.2 HV. Kenaikan nilai *hardness* dipengaruhi oleh *heat input* dimana berdasarkan analisa di atas dapat kita lihat bahwa nilai *hardness* tertinggi terdapat pada *heat input* terendah yaitu 0.97kJ/mm pada setiap lokasi pengujian. Adapun nilai *hardness* terendah terdapat pada *heat input* yang tertinggi. Pada masing-masing lokasi uji memiliki nilai *hardness* yang berbeda-beda. Pada daerah logam induk (*base metal*) memiliki nilai *hardness* paling tinggi dibandingkan pada daerah terpengaruh panas (HAZ), dan daerah logam las (*weld metal*).

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa pada material *Superduplex Stainless Steel S32750* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai *hardness* pada pengelasan GTAW dengan *heat input* rendah, memiliki nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan *heat input*

tinggi yaitu sebesar 265.9 HV pada daerah terpengaruh panas (HAZ), 229.5 HV pada logam las (*weld metal*) dan 299.2 HV pada logam induk (*base metal*).

2. Dengan variasi *heat input* yang digunakan, maka nilai *hardness* yang didapatkan juga menjadi bervariasi.

#### Daftar Rujukan

- [1] Ambiyar, P., 2008. *Fabrikasi Logam Ambiyar*. 3th. Padang: Universitas Andalas. UNP Press.
- [2] Naufal, A., Jokosisworo, S., Samuel., 2016. Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Sudut Kampuh V Terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan Gtaw. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4 (1), pp.256–264.
- [3] Dharma, S., Suherman., Sarjianto., Sebayang, R, dan Kurnianto, H.B., 2022. Pengaruh Kuat Arus Terhadap Sifat Mekanis pada Aluminium Al-Si-Fe dengan Filler Er 4043 Metode Pengelasan GTAW. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 17 (1), pp.103-112.
- [4] Ramadhan, F., Zulfika, D. N., Hakim, L., 2023. Analisis Pengelasan Smaw Baja S45C Terhadap Skd11 Dengan Variasi Posisi Terhadap Nilai Kekerasan. *Semin. Nas. Fak. Tek*, 2 (1), pp.370–375.
- [5] Furqon, G. R., Firman, M., Sugeng, M. A., 2016. Analisa Uji Kekerasan pada Poros Baja ST 60 dengan Media Pendingin yang Berbeda. *Al-Jazari Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1 (2), pp.21–26.
- [6] Setiadi, I., Hamzah, M. S., Bahtiar., 2018. Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Komposit Aluminium/Alumina Dengan Metode

- Metalurgi Serbuk. *Jurnal Mekanikal*, 9 (2), pp.1-7.
- [7] Rirismarangi, S, Syamsuar, Sumardi., 2019. Pengaruh variasi arus pengelasan GTAW terhadap sifat mekanik material St 37 (*The effect of GTAW welding current variations on the mechanical properties of the Material St 37*). *Journal of Welding Technology*, 1 (1), pp.22-25.
- [8] Rahmatika, A., Ibrahim, S., Hersaputri, M., Aprilia, E., 2019. Studi Pengaruh Variasi Kuat Arus terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan GTAW Alumunium 1050 dengan Filler ER 4043. *Jurnal Polimesin*, 17 (1), pp.47-54.
- [9] Herizal, Harsin, Hanif., 2020. Analisa Pengaruh Proses GTAW Dan SMAW Terhadap Ketangguhan Sambungan Pengelasan Material AISI 1050. *Journal of Welding Technology*, 2 (1), pp.19-25.
- [10] Akhyar et al., 2022. Evaluation of Welding Distortion and Hardness in the A36 Steel Plate Joints Using Different Cooling Media. *MDPI*, 14 (3), pp.140-147.