

PENGARUH VARIASI *HEAT INPUT* pada PENGELASAN *DISSIMILAR* antara BAJA ASTM A36 dan ASTM A131 TERHADAP TENSILE STRENGTH dan STRUKTUR MAKRO

Muhammad Musta'in¹⁾, Khoiruman¹⁾, Heni Siswanti¹⁾, Arisessy Mulananda¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Negeri Madura
Sampang, Jawa Timur, Indonesia 69281

Email: mustainpoltera@gmail.com/mustain@poltera.ac.id

Abstrak

Pada beberapa aplikasi engineering, seringkali dibutuhkan pengelasan antara dua logam yang tidak sejenis (*dissimilar welding*). Pada proses pembangunan kapal, metode yang umum digunakan untuk *dissimilar welding* adalah FCAW (*Flux Cored Arc Welding*). Karena properties dari kedua material yang dilas berbeda, maka kualitas hasil pengelasan perlu dipelajari. Selain perbedaan properties material terdapat beberapa hal yang mempengaruhi sifat mekanis dari hasil pengelasan, salah satu diantaranya adalah heat input. Untuk mengetahui kekuatan sambungan dari dissimilar welding ini perlu dilakukan pengujian sifat mekanis. Pada penelitian ini pengelasan material tak seragam baja ASTM A36 dan ASTM A131 dengan tiga variasi heat input dianalisis secara eksperimental dengan uji tarik dan pengamatan struktur makro. Hasil analisis menunjukkan bahwa *yield stress* meningkat ketika *heat input* naik tetapi kemudian menurun ketika *heat input* dinaikkan terus hingga mencapai 60 KJ/mm. Hasil yang sebaliknya ditunjukkan oleh nilai ultimate stress. Namun, dalam semua kondisi *heat input* yaitu 22,2 KJ/mm, 52 KJ/mm, dan 60 KJ/mm nilai *yield stress* dan *ultimate stress* semuanya memenuhi kriteria. Variasi heat input tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan kekuatan mekanis hasil dissimilar welding pada penelitian ini. Dari hasil pengamatan makrostruktur menunjukkan bahwa semakin tinggi heat input, maka daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) juga semakin meluas.

Kata Kunci: dissimilar, stress, heat input, tensile, struktur makro

Abstract

In some structural engineering applications, sometimes necessary to weld two different metals, called dissimilar welding. In the shipbuilding process, the method commonly used for dissimilar welding is FCAW (Flux Cored Arc Welding). Due to the difference in material properties between the two welded metals, the quality of the welded joint needs to be studied. Several things affect the mechanical properties of the dissimilar welded joint, one of them is heat input. To evaluate the dissimilar welded joint strength, it is necessary to carry out mechanical testing. Dissimilar welding of ASTM A36 and ASTM A131 steel with three different heat inputs was analyzed experimentally by tensile test and macrostructure observation. The analysis result shows that the yield stress increases when the heat input increases but then decreases when the heat input continues to be increased up to 60 KJ/mm. The opposite result is shown by the ultimate stress value. However, in all heat input conditions at 22 KJ/mm, 52 KJ/mm, and 60 KJ/mm the yield stress and ultimate stress meet the acceptance criteria. In this study, heat input variation has no significant effect on changes in mechanical strength of dissimilar welding results. The macrostructure observations show that the higher the heat input, the wider the Heat Affected Zone (HAZ) area.

Keywords: dissimilar, stress, heat input, tensile, macrostructure

1. PENDAHULUAN

Dalam proses fabrikasi pembangunan kapal terkadang diperlukan pengelasan dua logam yang berbeda jenis, yang dikenal dengan *dissimilar welding*. Pengelasan jenis ini juga digunakan dalam aplikasi industri yang khas, seperti konstruksi *pressure vessel* atau *heat exchanger*. Dissimilar welding umum digunakan untuk penyambungan antara *stainless steel* dengan *carbon steel* [1]. Pada jenis pengelasan ini dua jenis logam yang dilas memiliki properties dan sifat mekanis yang berbeda, sehingga karakteristik sambungan las

yang dihasilkan juga akan memiliki sifat yang berbeda dengan hasil pengelasan pada logam yang sama. Jenis pengelasan ini diaplikasikan ketika dibutuhkan perbedaan sifat mekanik pada bagian tertentu dari konstruksi kapal. Misalnya pada plat sisi kapal yang tercelup air menggunakan plat baja ASTM A131 yang memiliki sifat mekanis *tensile strength* yang tinggi, sementara pada bagian yang tidak tercelup air bisa menggunakan plat baja ASTM A36 yang *tensile strength*-nya lebih rendah.

Tiga daerah yang akan terbentuk ketika terjadi proses pengelasan baik pada pengelasan

logam sejenis maupun tak sejenis yaitu daerah logam las, daerah fusi, dan daerah yang dipengaruhi panas (*heat affected zone/HAZ*) [2]. Karakteristik dari ketiga daerah tersebut mempengaruhi kekuatan pengelasan. Pada kasus *dissimilar welding*, perbedaan komposisi material pada sepanjang garis fusi mengakibatkan perbedaan sifat mekanik struktur, yang berakibat pada sambungan rentan mengalami kegagalan (*failure*). Kegagalan terjadi karena sifat mekanik seperti kekerasan dan kekuatan sambungan menurun atau karena munculnya tegangan sisa [3]. Kegagalan juga dapat terjadi karena struktur sambungan hasil *dissimilar welding* tidak stabil sehingga muncul retak pada sekitar daerah HAZ [4].

Beberapa studi telah menunjukkan bahwa spesifikasi prosedur pengelasan merupakan faktor penting dalam *dissimilar welding*. Selain properties dari material yang dilas, kuat arus dan besarnya heat input juga mempengaruhi sifat mekanik sambungan hasil pengelasan. Pengaturan kuat arus dan heat input yang tepat sangat penting untuk menghasilkan sambungan las yang kuat [5]. Selain itu jarak *gap* dan filler metal dilution juga mempunyai pengaruh penting terhadap sambungan las, sebaliknya posisi pengelasan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan [6].

Pada penelitian ini dianalisis pengaruh variasi heat input pada *dissimilar welding* pada material baja yang berbeda grade, yaitu ASTM A131 dan baja ASTM A36 yang umum digunakan pada konstruksi plat kulit kapal. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi heat input terhadap sifat mekanik dan struktur makro pada sambungan las kedua logam tersebut.

2. METODE

Sesuai dengan tujuan dari peneliti untuk mengetahui pengaruh heat input terhadap sifat mekanik dan struktur makro sambungan *dissimilar welding*, maka metode penelitian ini dilakukan dengan ekperimental analisis pengujian mekanis uji tarik (*tensile test*) dan

pengamatan struktur makro. Dua jenis material baja yang dilas memiliki nilai *yield strength* dan *tensile range* sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1.

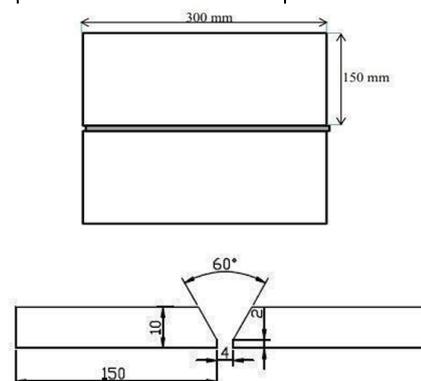
Tabel 1. Material

No	Steel	Min Yield (Mpa)	Tensile Range (Mpa)
1	ASTM A36	250	400-550
2	ASTM A131	335	490-620

Prosedur pengelasan menggunakan *Flux Cored Arc Welding (FCAW)*, dengan desain joint pengelasan seperti gambar 1, dan parameter pengelasan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Proses pengelasan dilakukan dengan mengikuti *welding procedure specification (WPS)* yang telah disusun sebelumnya. WPS disusun untuk mengendalikan proses pengelasan.

Tabel 2. Parameter FCAW

No	Parameter	Keterangan
1	<i>Backing Material</i>	Yes
2	<i>Root Opening</i>	Min. 0-4 mm
3	<i>Root face Dimension</i>	Max. 0-3 mm
4	<i>Type Joint</i>	<i>Butt Joint Single V-Groove</i>
5	<i>Groove Angle</i>	60°
6	<i>Plate Thickness</i>	10 mm
7	<i>Filler Metals</i>	AWS A5.20
8	<i>Position</i>	1G
9	<i>Shielding</i>	CO2
10	<i>Preheat</i>	None
11	<i>PWHT</i>	None
12	<i>Interpas Cleaning</i>	<i>Chipping, brushing, grinding</i>



Gambar 1. Desain sambungan las

Proses pengelasan dilakukan dengan tiga variasi heat input sebagaimana ditunjukkan pada tabel 3. Berdasarkan besarnya kuat arus dan voltase tersebut didapatkan nilai heat input yang dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$HI = \frac{I \cdot V}{S} \dots\dots\dots(Eq.1)$$

Dimana:

HI : Heat Input ((kJ/mm)

I : Kuat Arus (A)

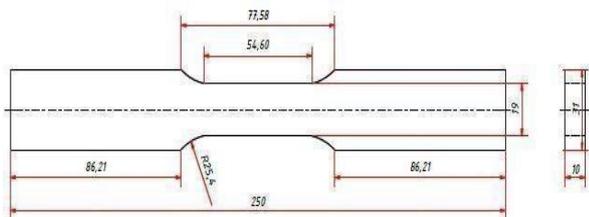
V : Voltase (V)

S : Kecepatan pengelasan (mm/s)

Tabel 3. Variasi Heat Input Pengelasan

Spesimen	Kuat Arus (A)	Voltase (Volt)	Heat Input (kJ/mm)
A	100	10	22,2
B	110	15	52
C	120	20	60

Plat hasil pengelasan yang telah memenuhi kriteria uji visual kemudian dibuat spesimen untuk *tensile test* dan *macro examination*. Ukuran spesimen tensile test mengacu kepada Standart ASME IX QW-462.1(a) [7], ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Ukuran spesimen tensile test

Pengujian mekanik dilakukan dengan *tensile test* dengan prosedur yang mengacu pada standart ASME IX QW-152 [7]. Selain spesimen tensile test, juga disiapkan spesimen untuk uji makro (*macro-examination*). Ukuran spesimen uji makro mengacu tandart ASME IX QW-462.7.3. Uji makro dilakukan pada potongan penampang melintang dari spesimen. Bagian ini dipoles kemudian digores untuk menunjukkan bagian *weld metal*. Pengujian makro dilakukan dengan perbesaran 10x dengan menggunakan etsa camera, untuk melihat bahwa bagian *weld metal* tidak terdapat *crack*, *incomplete penetration*, *expulsions*, dan *inclusions* [7].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dibuat masing-masing 9 (sembilan) spesimen pada setiap kondisi pengujian. Nilai rata-rata dari kekuatan mekanik *tensile strength* tersebut yang dianalisis dan dibahas pada bab ini. Proses pengelasan dilakukan oleh certified professional welder untuk menjamin seluruh proses sesuai dengan prosedur dan parameter penelitian.

3.1 Visual Test

Setelah dilakukan proses pengelasan pada semua spesimen, maka dilakukan visual test terhadap material. Visual test ini dilakukan untuk melihat ada atau tidaknya cacat pada hasil pengelasan. Visual test dilakukann dengan metode liquid penetrant, dimana daerah hasil pengelasan diberikan cairan penetrant berupa *color contrast solvent* yang dapat menunjukkan retak maupun cacat las permukaan yang lain. Test ini dilakukan untuk memastikan material yang akan diuji mekanik dan *macro-examination* pada tahap selanjutnya tidak memiliki cacat las atau telah memenuhi *acceptance criteria* ASME VIII Div.2. Proses penentrant test dapat dilihat pada contoh gambar 3, sedangkan hasil visual test pada spesimen ditunjukkan pada tabel 4.



Gambar 3. Spesimen dalam tahap visual penetrant test

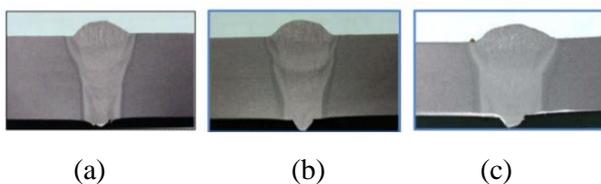
Tabel 4. Hasil evaluasi *penetrant test*

No	Spesimen	Jenis Cacat	Status
1	A1	Porosity < 5 mm	Diterima
2	A2	Porosity < 5 mm	Diterima
3	A3	Porosity < 5 mm	Diterima
4	B1	-	Diterima
5	B2	-	Diterima
6	B3	-	Diterima
7	C1	Porosity < 5 mm	Diterima

8	C2	-	Diterima
9	C3	-	Diterima

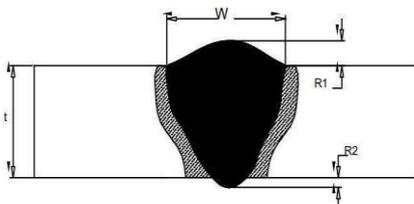
3.2 Uji Struktur Makro

Pengujian struktur makro (*macro-examination*) pada hasil pengelasan dilakukan pada potongan melintang bagian *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Hasil foto etsa camera dengan perbesaran 10x lipat dari masing-masing variasi *heat input*, ditunjukkan pada gambar 5 (a), (b), dan (c).



Gambar 5. Gambar hasil *macro-examination* dengan *heat input* (a) 22,2 kJ/mm; (b) 50 kJ/mm; (c) 60 kJ/mm

Acceptance criteria pada *macro-examination* adalah tinggi *capping* (R_1) maksimal 3mm, lebar *capping* (W) 20 mm, tinggi *root* (R_2) maksimal 2 mm, dengan detail masing-masing posisi seperti gambar 6.



Gambar 6. Detail penampang melintang pengelasan

Hasil pengujian makro pada ketiga variasi *heat input* tersebut ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil *macro-examination*

Spesimen	Heat Input (kJ/mm)	Cacat	Lebar rata-rata HAZ (mm)
A	22,2	-	1,1
B	52	-	1,5
C	60	-	2,05

Hasil *macro-examination* menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai *heat input* maka akan menghasilkan daerah HAZ yang semakin luas. Artinya semakin tinggi *heat input* semakin banyak siklus termal yang dialami plat tersebut. Daerah ini merupakan daerah yang mengalami transformasi frasa pada saat proses

pendinginan setelah pengelasan, meskipun logam tidak meleleh akan tetapi struktur mikronya akan berubah [8]. Perubahan ini dapat menurunkan kekuatan logam. Hasil *macro-examination* pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi *heat input*, maka daerah yang mengalami penurunan kekuatan akan semakin luas. Luasnya daerah HAZ ini mempengaruhi sifat mekanik seperti ketahanan terhadap *fatigue*, distorsi maupun munculnya retak di permukaan. Pembentukan HAZ pada proses pengelasan tidak dapat dihindari, akan tetapi dapat diminimalisir. Oleh karena itu kondisi terbaik adalah ketika luas HAZ ini sekecil mungkin. Dalam kaitannya dengan *heat input* maka hendaknya dipilih *heat input* yang tidak terlalu tinggi, untuk dapat menghindari meluasnya zona yang terpengaruh panas (HAZ).

3.3 Tensile Strength

Spesimen hasil pengelasan yang telah dinyatakan memenuhi kriteria dalam visual test, kemudian diuji secara mekanik dengan *tensile test* (uji tarik). Sejumlah spesimen uji sebagaimana contoh yang ditunjukkan pada gambar 7, diberikan pembebanan tarik untuk mendapatkan nilai dari *tensile strength*-nya. Hasil uji yang dianalisis harus dipastikan merupakan hasil uji pada material yang tidak memiliki cacat *slag inclusion* pada daerah dalam hasil lasan. Hasil *tensile test* ditunjukkan pada tabel 6.



Gambar 7. Sejumlah spesimen *tensile test* pada satu variasi *heat input*

Tabel 6. Hasil *tensile test*

Spec	Heat Input	UTS (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Ket
	kJ/mm			
A1	22,2	369.06	297.54	Rejected
A2		428.75	290.61	Accepted
A3		438.64	310.97	Accepted
A4		323.69	172.55	Rejected
A5		439.43	370.75	Accepted
A6		440.86	328.18	Accepted
A7		448.85	372.7	Accepted
A8		368.98	368.98	Rejected
A9		401.35	391.77	Accepted
B1	52	401.35	391.77	Accepted
B2		393.04	393.03	Rejected
B3		470.38	392.14	Accepted
B4		446.57	383.68	Accepted
B5		414.26	386.85	Accepted
B6		443.43	308.2	Accepted
B7		420.43	400.97	Accepted
B8		411.64	378.34	Accepted
B9		425.98	347.76	Accepted
C1	60	444.07	302.92	Accepted
C2		441.67	301.8	Accepted
C3		464.87	351.55	Accepted
C4		470.73	337.41	Accepted
C5		475.44	445.28	Accepted
C6		470.52	366.77	Accepted
C7		440.77	306.35	Accepted
C8		454.65	355.21	Accepted
C9		476.61	358.33	Accepted

Sejumlah spesimen dinyatakan rejected karena nilai tensile strength dibawah dari tensile strength base metal, dan pada weld metalnya terdapat cacat *slag inclusion*. Cacat ini berupa slag yaitu flux yang mencair di dalam weld metal, yang tampak pada saat logam las telah terputus setelah diuji tarik. Nilai yield strength maupun ultimate tensile strength dari spesimen yang tidak memenuhi kriteria (*rejected*) ini tidak dimasukkan dalam mendapatkan rata-rata tensile strength. Nilai rata-rata tensile strength dari ketiga variasi heat input tersebut adalah sebagaimana ditunjukkan pada tabel 7.

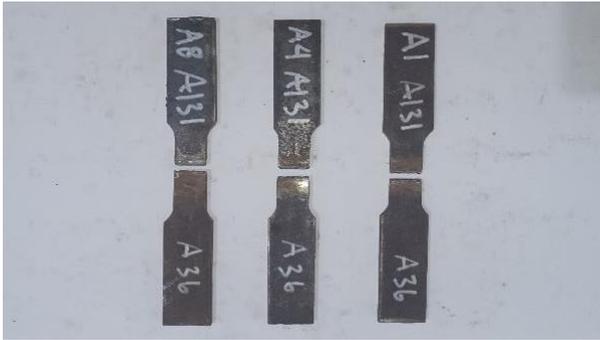
Tabel 7. Rekap rata-rata tensile strength material las dengan variasi heat input

Specimen	Heat Input (KJ/mm)	Yield Stress (Mpa)	UTS (Mpa)
A	22,2	344.16	432.98
B	52	373.70	429.26
C	60	347.29	459.93

Hasil analisis menunjukkan bahwa *yield stress* meningkat ketika *heat input* naik tetapi kemudian menurun ketika heat input dinaikkan terus hingga mencapai 60 KJ/mm. Hasil yang sebaliknya ditunjukkan oleh nilai *ultimate tensile stress* (UTS). Pengamatan secara visual pada patahan spesimen uji juga dilakukan, dan tampak pada gambar 8 bahwa patahan terjadi pada base metal ASTM A36. Hal ini dikonfirmasi dari nilai *tensile strength* adalah pada tensile range ASTM A36, karena pada dasarnya memiliki tensile range lebih rendah daripada ASTM A131. Sedangkan pada sambungan pengelasan tidak terjadi patahan, kecuali pada spesimen yang *rejected* dengan cacat slag inclusion seperti pada gambar 9. Hal ini menunjukkan bahwa variasi heat input pada proses *dissimilar welding* pada dua jenis baja karbon yang berbeda tidak terlalu berpengaruh pada kekuatan logam hasil pengelasan, selama tidak terdapat cacat atau defect pada bagian dalam logam pengelasan.



Gambar 8. Spesimen uji yang “accepted” patah pada base metal



Gambar 9. Spesimen uji yang “rejected” patah pada weld metal

Selama proses pengelasan dilakukan dengan mengikuti WPS yang ada, maka pada semua kondisi *heat input* yaitu 22,2 Kj/mm, 52 Kj/mm, dan 60 Kj/mm nilai *yiled stress* dan *ultimate stress* semuanya memenuhi kriteria. Variasi *heat input* pada range yang tidak terlalu jauh seperti pada penelitian ini tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan hasil *dissimilar welding*. Hal ini senada dengan hasil penelitian lain pada pengelasan SMAW pada material ASTM A36 yang menyatakan bahwa hasil variasi *heat input* tidak mempengaruhi sifat patah ulet hasil logam pengelasan [9]. Begitu juga pada penelitian terhadap pengelasan material stainless steel 201 [10].

4. KESIMPULAN

Hasil analisis pada *dissimilar welding* pada material ASTM A36 dan ASTM A131 dengan tiga variasi *heat input* secara eksperimental dengan tensile test dan macro-examination menunjukkan bahwa *yield stress* meningkat ketika *heat input* naik tetapi kemudian menurun ketika *heat input* dinaikkan terus hingga mencapai 60 Kj/mm. Hasil yang sebaliknya ditunjukkan oleh nilai *ultimate stress*. Namun, dalam semua kondisi *heat input* yaitu 22,2 Kj/mm, 52 Kj/mm, dan 60 Kj/mm nilai *yiled stress* dan *ultimate stress* semuanya memenuhi kriteria. Akan tetapi perubahan kekuatan tersebut tidak signifikan, sehingga dapat dikatakan bahwa variasi *heat input* pada range yang tidak terlalu jauh seperti pada penelitian ini tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan hasil *dissimilar welding*. Sedangkan dari hasil pengamatan

makrostruktur menunjukkan bahwa semakin tinggi *heat input*, maka daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) juga semakin meluas. Pembentukan HAZ pada proses pengelasan tidak dapat dihindari, akan tetapi dapat diminimalisir. Oleh karena itu kondisi terbaik adalah ketika luas HAZ ini sekecil mungkin. Dalam kaitannya dengan *heat input* maka hendaknya dipilih *heat input* yang tidak terlalu tinggi, untuk dapat menghindari meluasnya zona yang terpengaruh panas (HAZ).

Pembagian Tugas dalam Penelitian:

- Author 1: Menyiapkan desain eksperimen, mengorganisir dan supervisi eksperimen serta analisis data eksperimen.
- Author 2: Melaksanakan eksperimen, mendokumentasikan dan mengolah/analisis data hasil eksperimen.
- Author 3 - 4 : Mengolah dan analisis data eksperimen, menyusun draft publikasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada seleuruh pihak yang mendukung penelitian ini kami ucapkan banyak terimakasih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Chuaiphan, S. Chandra-ambhorn dan S. Niltawach, “Dissimilar Welding between AISI 304 Stainless Steel and AISI 1020 Carbon Steel,” *Applied Mechanics and Materials*, Vol. %1 dari %2Vols. 268-270, pp. 283-290, 2013.
- [2] R. Siswanto, Buku Ajar Teknologi Pengelasan Prodi Teknik Mesin, Universitas Lambung Mangkurat, 2018.

- [3] M. W. Ilham, "Analisis Kombinasi Elektroda pada Pengelasan Material Baja dengan Stainless Steel ditinjau dari Sifat Mekanik," 2017.
- [4] F. A. Mantika, "Pengaruh Haet Input pada Pengelasan Dissimilar Metal SS304H dan T22 dengan Proses GTAW terhadap Distribusi Kekerasan dan Kandungan Delta Ferrite," 2018.
- [5] B. Mvola, P. Kah dan J. Martikainen, "Dissimilar Ferrous Metal Welding Using Advanced Gas Metal Arc Welding Processes," *Rev. Advanced Material Science*, vol. 38, pp. 125-137, 2014.
- [6] M. Black, "Welding of Dissimilar Metals in Different Welding Positions," KTH KUNGLIGA TEKNISKA HÖGSKOLAN, 2015.
- [7] A. B. a. P. V. Commite, *An International Code ASME Boiler & Pressure Vessel Code IX : Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*, The American Society of Mechanical Engineers, 2007.
- [8] W. Soedarmadji, "Pengaruh Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) pada Mild Steel S45C di Daerah HAZ dengan Pengujian Metalografi".
- [9] H. Wibowo, M. N. Ilham dan P. T. Iswanto, "Analisa Heat Input Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 5-12, 2016.
- [10] V. Romdhoni, Fadelan dan Y. Winardi, "Pengaruh Heat input terhadap hasil kekuatan sambungan pengelasan SMAW pada Material Stainless Steel 201," *Komputek*, 2019.