

## Analisis Pengaruh Variasi Sudut Bevel dan Filler Metal Size pada Pengelasan Tube SA-213 TP316L to Tubesheet SA-240 TP304L terhadap Metalografi dan Kekerasan

Aufaanda Ivan Saksana<sup>1\*</sup>, Bachtiar<sup>2</sup>, Moh.Syaiful Amri<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111<sup>1\*</sup>

Email: aufandaivan@gmail.com<sup>1</sup>

**Abstract** – In determining the procedure for tube to tubesheet welding, the TEMA standard does not specify the standard for determining the use of bevel angle and diameter of filler metal size. Due to mechanisms such as welding defects and so on, cracks and damage can easily form in tube to tubesheet welding joints. This final project research was conducted to examine the effect of variations in the use of bevel angle and filler metal size on metallography and Hardness value. Therefore, this research uses variations in filler metal diameter of 1.2mm and 2.0mm. Then for bevel angle variations using bevel angles of 30°, 40°, and 50°. In the micro test on the weld metal, the results obtained the higher the heat input, the less the ferrite phase. In the Hardness test, the highest Hardness value for HAZ tube and tubesheet is obtained in the 30° bevel angle specimen  $\phi$  filler metal 1.2mm with a value of 179HVN and 181HVN and for the lowest Hardness value obtained a value of 171HVN and 174HVN in the 50° bevel angle specimen  $\phi$  filler metal 2.0mm. In the weld metal, the highest Hardness value is 221HVN in the 30°  $\phi$  filler metal 1.2mm bevel angle specimen, while the lowest value is 201HVN in the 50°  $\phi$  filler metal 2.0mm bevel angle specimen.

**Keyword:** Austenitic stainless steel, Filler metal size, Hardness Value, Microstructure Examination, Tube to tubesheet

### 1. PENDAHULUAN

Dalam proses pembuatan fabrikasi *heat exchanger*, diperlukan adanya prosedur yang mengacu kepada *standart* atau *code* yang berlaku, seperti ASME dan TEMA yang merupakan *code* dan *standart* yang didalamnya juga membahas tentang proses fabrikasi dalam membuat unit *heat exchanger*. Dalam proses fabrikasi *heat exchanger*, ketelitian dalam proses pengelasan mempunyai peranan yang cukup penting. Karena mekanisme seperti cacat pengelasan dan sebagainya, retak dan kerusakan dapat dengan mudah terbentuk pada sambungan las *tube to tubesheet* [9].

Dalam menentukan desain dan prosedur tentang pengelasan *tube to tubesheet*, pada standar TEMA 10th Edition tidak dikatakan untuk *standart*/batasan dari sudut *bevel* dan diameter *filler metal size* yang digunakan. Tetapi sudut *bevel* berpengaruh terhadap nilai kekerasan yang ada pada HAZ, dimana semakin besar sudut *bevel* yang ditentukan, maka hal tersebut menyebabkan daerah HAZ yang terbentuk juga semakin membesar, jadi semakin tinggi nilai kekerasan pada daerah HAZ maka semakin kecil nilai dilusi yang ada [13]. Pada *Heat exchanger Design Handbook* untuk ketentuan *filler metal size* juga tidak ditentukan untuk diameter *filler metal size*

yang digunakan dalam pengelasan sambungan *tube to tubesheet*. Besar kecilnya *filler metal size* berpengaruh pada besar kecilnya *heat input* pada sambungan *tube to tubesheet* tersebut, jumlah panas yang diberikan ke sambungan las dapat mempengaruhi struktur mikro dan makro material yang terbentuk selama pengelasan. Jumlah panas yang berlebihan juga dapat menyebabkan deformasi, perubahan struktur mikro, dan bahkan menyebabkan terjadinya retak. Pada referensi/*standart* yang digunakan tersebut, tidak mengatur perihal nilai pasti dalam menentukan parameter penggunaan sudut *bevel* dan ukuran *filler metal*.

Penelitian ini dilakukan untuk meneliti lebih lanjut untuk pengaruh yang disebabkan dari penggunaan variasi sudut *bevel* dan *filler metal size* terhadap metalografi, dan nilai kekerasan. Sehingga dari penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pemahaman tentang pengerjaan pengelasan *tube to tubesheet* agar lebih baik dan lebih efisien.

Penelitian ini berfokus pada pengelasan sambungan *tube-tubesheet* menggunakan material *tube* SA-213 TP316L dan *tubesheet* SA-240 TP304L. Tujuan utama penelitian adalah untuk menganalisis pengaruh variasi sudut *bevel* (30°, 40°, dan 50°) serta ukuran *filler metal* (1 mm dan 2 mm) terhadap struktur mikro (metalografi) dan

kekerasan hasil lasan. Proses pengelasan dilakukan dengan metode GTAW menggunakan gas Argon UHP sebagai *shielding gas*.

## 2. METODOLOGI.

Dalam peneltoan ini terdiri dari beberapa tahapan mulai dari Persiapan alat dan bahan, Proses *machining*, Proses pengelasan, *Penetrant test*, Pengujian metalografi, dan pengujian kekerasan, Analisa data dan pembahasan, serta Kesimpulan dan saran

### 2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah material SA-213 TP316L dengan diameter 19.05mm dengan ketebalan 1.2mm dan material SA-240 TP304L dengan dimensi material sebagai berikut 120x90x35 mm. Proses pengelasan yang digunakan adalah *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW). Notasi variabel spesimen pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1: Notasi Penamaan Spesimen

Notasi Spesimen	Keterangan
A1	Sudut <i>Bevel</i> 30°, $\phi$ <i>filler metal</i> 1.2mm
A2	Sudut <i>Bevel</i> 30°, $\phi$ <i>filler metal</i> 2.0mm
B1	Sudut <i>Bevel</i> 40°, $\phi$ <i>filler metal</i> 1.2mm
B2	Sudut <i>Bevel</i> 40°, $\phi$ <i>filler metal</i> 2.0mm
C1	Sudut <i>Bevel</i> 50°, $\phi$ <i>filler metal</i> 1.2mm
C2	Sudut <i>Bevel</i> 50°, $\phi$ <i>filler metal</i> 2.0mm

Berdasarkan ASME sec. II Part A1 [1] sifat mekanik dan komposisi kimia material SA-213 TP316L dan SA-40 TP304L dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 2 Sifat Mekanik SA-213 TP316L

Material	Minimum Yield Strength, Ksi (MPa)	Minimum Tensile Strength, Ksi (MPa)
SA-213 TP316L	70 (485)	25 (170)

Tabel 3 Komposisi Kimia SA-213 TP316L

Chemical Composition (%)			
C	0.035	Si	1.00
Mn	2.00	Cr	16.0 – 18.0
P	0.045	Ni	10.0 – 14.0
S	0.030	Mo	2.00 – 3.00

Tabel 4 Sifat Mekanik SA-240 TP304L

Material	Minimum Yield Strength, Ksi (MPa)	Minimum Tensile Strength, Ksi (MPa)
SA-240 TP304L	70 (485)	25 (170)

Tabel 5 Komposisi Kimia SA-240 TP304L

Chemical Composition (%)			
C	0.030	Si	0.75
Mn	2.00	Cr	17.5 – 19.5
P	0.045	Ni	8.0 – 12.0
S	0.030		

*Filler metal* yang digunakan yaitu ER316L dengan diameter 1.2mm dan 2.0mm. Berdasarkan

ASME sec. II Part C [2] sifat mekanik dan komposisi kimia *filler metal* dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7 di bawah ini

Tabel 6 Sifat Mekanik *Filler metal* ER316L

AWS Class	Minimum Yield Strength, Ksi (MPa)	Minimum Tensile Strength, Ksi (MPa)
ER316L	70 (490)	25 (170)

Tabel 7 Komposisi Kimia *Filler metal* ER316L

Chemical Composition (%)			
C	0.030	Si	0.30 – 0.65
Mn	1.0 - 2.5	Cr	18.0 – 20.0
P	0.03	Ni	10.0 – 14.0
S	0.03	Mo	2.00 – 3.00

Alat lain yang digunakan untuk menunjang penelitian ini antara lain mesin las *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) yang digunakan untuk proses pengelasan spesimen. Mesin *milling* SM4 untuk proses *machining* (pembentukan sudut *bevel*) pada spesimen sebelum dilakukan proses pengelasan. *Thermogun* untuk memastikan temperatur *interpass* sesuai dengan ketentuan pada penelitian ini. Lalu *welding gauge* digunakan untuk memastikan pembentukan sudut sesuai dengan variabel yang sudah ditentukan.

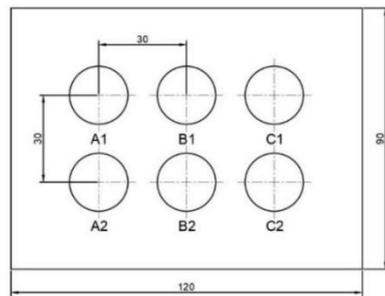
### 2.2 Proses *Machining* dan Pengelasan

Sebelum dilakukannya pengelasan material, *tubesheet* perlu dilakukan proses *machining* untuk pembuatan sudut *bevel* sesuai dengan variabel yang sudah ditentukan, proses *machining* dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Proses *Machining* Material

Pembentukan sudut *bevel* yang sudah ditentukan yaitu sudut *bevel* 30°, 40°, dan 50°. Proses *machining* untuk material juga termasuk untuk pengeboran *tubesheet* dengan jarak antar lubang sesuai dengan *joint design* yang sudah ditentukan dan ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini



Gambar 2. Joint design

### 2.3 Penetrant test

Uji penetrasi merupakan langkah penting dalam evaluasi kualitas lasan. Hasil uji ini memberikan informasi awal mengenai integritas permukaan sambungan las. Pada penelitian ini, uji penetrasi berperan dalam mengidentifikasi potensi cacat yang dapat mempengaruhi kinerja komponen.

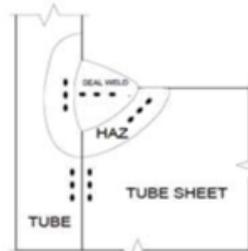
### 2.4 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi digunakan untuk melihat hasil pengelasan pada daerah *weld metal*, HAZ dan *base metal*, pengujian metalografi terdiri dari pengujian *micro examination* dan *macro examination* [12]. Pada penelitian ini pengujian metalografi digunakan untuk mengetahui pengaruh dari variasi sudut *bevel* dan diameter *filler metal* yang digunakan pada setiap spesimen yang sudah dibagi. Sebelum dilakukan proses pengujian, material terlebih dahulu dilakukan proses *grinding* dan *polishing* untuk menghaluskan material, jika permukaan material sudah cukup halus kemudian material akan diberikan proses *etching* menggunakan larutan *Aquarwgia* (campuran 10 ml  $HNO_3$  dan 40 ml HcL). Pengujian mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500X pengambilan gambar dilakukan pada daerah *base metal*, *Heat Affected Zone (HAZ)* dan *weld metal* dan untuk pengujian makro menggunakan kamera makro.

### 2.5 Pengujian Hardness Vickers

Pengujian *Hardness Vickers* dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material di daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada penelitian ini, pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui variasi sudut *bevel* dan diameter *filler metal* yang digunakan pada setiap spesimen yang sudah dibagi. *Hardness test* dilakukan dengan menggunakan metode *Hardness Vickers (HVN)* menggunakan pembebanan 2Kgf dengan waktu pembebanan 10 detik. Jumlah titik yang dilakukan uji *Hardness* pada masing-masing variasi berjumlah 15 titik yaitu 3 titik pada area *base metal tube*, 3 titik pada area *base metal tubesheet*, 3 titik pada daerah HAZ *tube*, 3 titik pada daerah HAZ *tubesheet*, dan

3 titik pada *weld metal*. Lokasi indentasi dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Titik Pengambilan Nilai Kekerasan

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dari semua pengujian yang dilakukan pada penelitian ini akan dijelaskan sebagai berikut

### 3.1 Hasil Liquid Dye Penetrant test

Pada penelitian ini pengujian penetrasi mengacu pada standar ASME Sect. IX [3], dan hasil pengujian penetrasi dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.

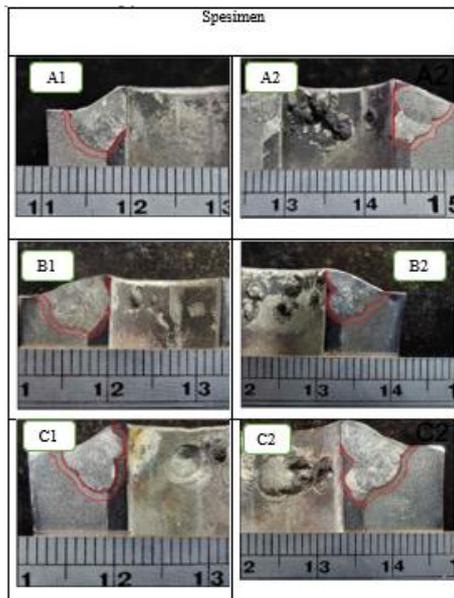


Gambar 4 Hasil Pengujian Liquid Dye Penetrant

Berdasarkan hasil pemeriksaan yang telah dilakukan, tidak ditemukan adanya cacat atau ketidaksesuaian pada spesimen hasil pengelasan. Semua indikasi yang muncul tidak memenuhi kriteria cacat yang telah ditetapkan. Baik indikasi linier maupun *rounded* yang terdeteksi memiliki ukuran di bawah ambang batas relevan, yaitu kurang dari 1,5 mm untuk indikasi linier dan kurang dari 5 mm untuk indikasi *rounded*. Selain itu, tidak ditemukan adanya kelompok indikasi *rounded* sebanyak empat atau lebih yang berjajar dalam satu garis lurus dengan jarak antar indikasi kurang dari 1,5 mm. Maka spesimen dapat dikatakan memenuhi *acceptance criteria* sehingga dapat dikatakan hasil dari proses pengelasan tersebut lolos untuk uji penetrasi dan dapat dilanjutkan proses berikutnya, tanpa ada *repair*.

### 3.2 Hasil Pengujian Makro

Pada penelitian ini pengujian makro berfokus pada luasan daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* yang terbentuk karena perbedaan variabel pada setiap spesimen uji. Hasil pengujian makro dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5 Hasil Pengujian Makro

Dari Gambar 5 di atas didapatkan data luasan daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) yang dapat dilihat pada Tabel 8 di bawah ini

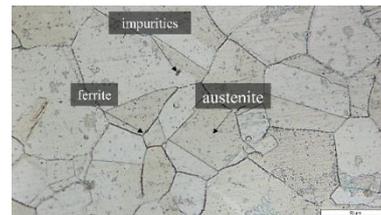
Tabel 8 Hasil Perhitungan Luasan HAZ

Spesimen		Marking Spesimen	Luasan HAZ (mm <sup>2</sup> )
Sudut Bevel	Ø Filler metal		
30°	1.2mm	A1	6.675
30°	2.0mm	A2	9.439
40°	1.2mm	B1	9.319
40°	2.0mm	B2	9.702
50°	1.2mm	C1	12.319
50°	2.0mm	C2	14.250

Dari semua hasil pengujian makro pada setiap spesimen uji tidak ditemukan indikasi *welding imperfection*. Pada setiap variasi spesimen uji memiliki luasan *Heat Affected Zone* (HAZ) yang berbeda, hal ini dikarenakan adanya perbedaan masukan panas. Dari Penelitian yang pernah dilakukan Kumar [6] menyatakan jika *heat input* pada proses pengelasan bertambah besar, maka luasan area HAZ juga ikut bertambah. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa nilai *heat input* berbanding lurus dengan lebar HAZ, semakin bertambah *heat input* maka luasan HAZ juga semakin luas, sebaliknya jika *heat input* semakin menurun maka luasan HAZ yang terjadi akan semakin sempit.

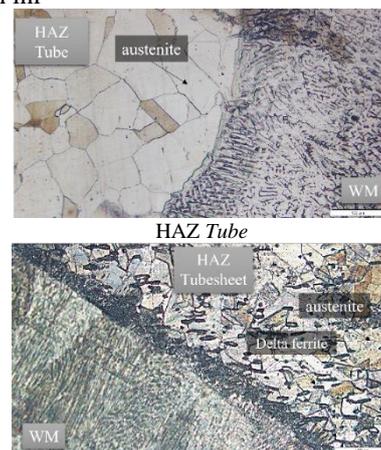
### 3.3 Hasil Pengujian Mikro

Pengujian mikro struktur menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 500x. Hasil pengujian mikro pada daerah *base metal* dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini



Gambar 6 Struktur Mikro pada Daerah *Base metal*

Dari hasil pengujian mikro pada daerah *base metal* material SA-213 TP316L, dan SA-240 TP304L. Material ini adalah jenis *austenitic stainless steel*. Pada material ini terdapat struktur mikro *austenite* yang menjadi fasa primer pada material berjenis *austenitic stainless steel* dan terdapat fasa sekunder berupa *ferrite*. Dari hasil struktur mikro diatas juga menunjukkan bahwa pada daerah *base metal* terdapat struktur *austenite* sebagai struktur yang dominan dan terdapat *ferrite* sebagai pembatas diantara struktur struktur mikro *austenite* yang terbentuk pada *base metal*. Hasil pengujian mikro pada daerah HAZ *tube* dan HAZ *tubesheet* dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini



Gambar 7 Struktur Mikro pada Daerah HAZ

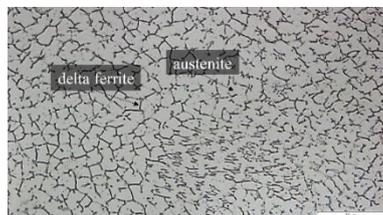
Pada Gambar 7 pada daerah HAZ *stainless steel* diperoleh struktur mikro yang sama untuk spesimen A1, A2, B1, B2, C1, dan C2. Terlihat hanya terdapat fasa *ferrite* dan *austenite* yang merupakan fasa paling umum ditemukan pada material tipe *austenitic stainless steel*. Tidak terdapatnya perbedaan yang signifikan pada daerah HAZ *stainless steel* disebabkan daerah ini hanya terpengaruh panas dari proses pengelasan, tetapi tampak adanya perbedaan pada garis fusi (*fusion line*) pada material *tube* dan *tubesheet* yang disebabkan oleh konduktivitas termal pada kedua material tersebut.

Konduktivitas termal merupakan ukuran seberapa cepat panas dapat ditransfusikan. Jika konduktivitas termal tinggi maka material akan dapat menyebarkan panas lebih cepat, kondisi inilah yang menyebabkan pendinginan lebih cepat. Disisi lain konduktivitas termal yang rendah akan menjaga panas dalam material lebih

lama.

Ketebalan material *tube* yang lebih kecil mengakibatkan konduktivitas termal yang lebih tinggi dan hal tersebut menyebabkan laju pendinginan yang lebih cepat. Laju pendinginan yang cepat menyebabkan pembentukan fasa kedua (*ferrite*) yang semakin kecil dan rapat[4]. Hal tersebut menyebabkan *fusion line* antara *weld metal* dan *base metal* terlihat sangat jelas dan laju pendinginan yang cepat mampu menghambat pertumbuhan butir fasa *ferrite* untuk tumbuh terlalu jauh ke dalam *fusion zone*[11].

Daerah HAZ *tubesheet* memiliki konduktivitas termal yang kecil dikarenakan ketebalan material *tubesheet* yang lebih besar yang mengakibatkan konduktivitas termal yang lebih rendah dan menyebabkan laju pendinginan lebih lambat. Laju pendinginan yang lambat menyebabkan batas butir yang lebih kasar dan memberikan waktu yang cukup untuk dendrit tumbuh lebih jauh ke dalam *fusion zone*[6]. Hal tersebut menyebabkan *fusion line* antara *weld metal* dan *base metal* terdapat fasa *ferrite* yang tumbuh melebihi *fusion line* dan menyebabkan area HAZ pada area *tubesheet* memiliki fasa *ferrite* dan akibatnya kekerasan pada daerah ini lebih tinggi dibandingkan dengan HAZ *tube* dan laju pendinginan yang lambat menyebabkan butir fasa *ferrite* tumbuh terlalu jauh ke dalam *fusion zone*[12]. Hasil pengujian mikro pada daerah *Weld metal* dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8 Struktur Mikro pada Daerah *Weld metal*

Pada Gambar 8 dapat dilihat terdapat dua jenis fasa yang terbentuk pada daerah *weld metal*. Fasa yang terbentuk adalah *austenite* dengan bentuk pipih dan berwarna lebih terang dan *delta ferrite* berbentuk sekeletal dan berwarna lebih gelap. Pada dasarnya *delta ferrite* terbentuk karena peningkatan rasio  $Cr_{eq}/Ni_{eq}$  pada *weld metal* dan juga semakin banyak pembentukan fasa *delta ferrite* pada *weld metal* dapat meningkatkan nilai kekerasan dari *weld metal*[5].

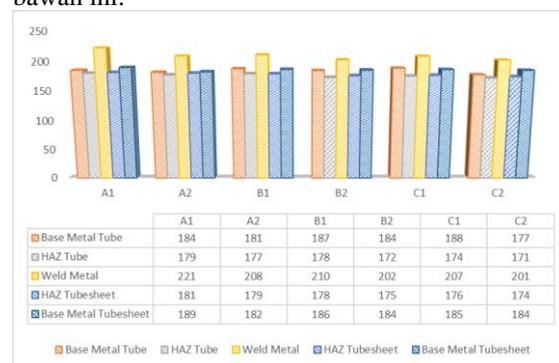
*Delta ferrite* yang ada pada *austenite* berguna untuk mencegah *hot cracking* pada daerah *weld metal*, tetapi apabila jumlah *delta ferrite* yang berlebih juga dapat membentuk tempat yang berpotensi untuk terjadinya nukleasi karbida kromium[5]. Keberadaan fasa berupa *delta ferrite* pada daerah *weld metal* baja tahan karat jenis *austenitic* menjadi sangat penting, sebab terlalu banyak *delta ferrite* akan cenderung mengurangi keuletan, ketangguhan serta

ketahanan korosi dari sebuah sambungan las, sedangkan terlalu sedikit *delta ferrite* dapat menyebabkan retak pematatan[7].

### 3.4 Hasil Pengujian Kekerasan

Pada penelitian ini, pengujian kekerasan digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut *bevel* dan diameter *filler metal* pada material SA-213 TP316L dan SA-240 TP304L. Pengambilan titik untuk uji nilai kekerasan berjumlah 15 titik yaitu 3 titik pada area *base metal tube*, 3 titik pada area *base metal tubesheet*, 3 titik pada daerah HAZ *tube*, 3 titik pada daerah HAZ *tubesheet*, dan 3 titik pada *weld metal*.

Grafik keseluruhan rata-rata nilai kekerasan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9 Grafik Rata-rata Nilai Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan *Vickers* pada berbagai titik pada daerah *weld metal* dan HAZ menunjukkan variasi yang signifikan. Nilai kekerasan tertinggi tercatat pada *marking* A1 dengan nilai 221HVn pada *weld metal*, sementara nilai terendah ditemukan pada *marking* C2 dengan nilai 201HVn. Pola serupa juga terlihat pada daerah HAZ *tube* dan *tubesheet*, dengan nilai tertinggi pada *marking* A1 dan terendah pada *marking* C2. Variasi ini mengindikasikan pengaruh kompleks dari parameter pengelasan terhadap mikrostruktur dan kekerasan material. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya Kozuh [8] yang menunjukkan bahwa besarnya kekerasan juga dipengaruhi oleh *heat input* dari pengelasan, peleburan dan pematatan pada area tersebut. Pengurangan volume *ferrite* dengan meningkatnya *heat input*, seperti yang dilaporkan oleh Marcelino[10], dapat menjadi salah satu faktor yang berkontribusi pada peningkatan kekerasan pada *weld metal*.

### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengumpulan data dari setiap pengujian yang telah dilakukan dalam penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Hasil pengujian makro menunjukkan kualitas sambungan las yang baik pada semua spesimen, ditandai dengan fusi sempurna tanpa cacat.

Peningkatan *heat input* berkorelasi positif dengan perluasan daerah HAZ. Analisis mikrostruktur mengungkapkan kehadiran fasa *ferrite*, *delta ferrite*, dan *austenite* di area HAZ, serta dominasi fasa *austenite* pipih dan *delta ferrite* skeletal pada *weld metal*. Variasi *heat input* memberikan pengaruh signifikan terhadap fraksi fasa *ferrite* pada *weld metal*, di mana peningkatan *heat input* mengakibatkan penurunan fassa *ferrite* dan kekerasan.

Pengujian kekerasan menunjukkan di mana spesimen A1 (sudut *bevel* 30°, *filler metal*  $\phi$ 1.2 mm) memiliki kekerasan tertinggi, baik pada HAZ maupun *weld metal*. Sebaliknya, spesimen C2 (sudut *bevel* 50°, *filler metal*  $\phi$ 2.0 mm) menunjukkan kekerasan terendah. Perbedaan konduktivitas termal antara *tube* dan *tubesheet* mempengaruhi distribusi fasa *ferrite* dan kekerasan pada HAZ. Hasil ini mengindikasikan bahwa pemilihan parameter pengelasan, khususnya sudut *bevel* dan diameter *filler metal*, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap mikrostruktur dan nilai kekerasan sambungan las.

## 5. PUSTAKA

- [1] ASME Sect. II part A1, ASME Boiler & Pressure Vessel Code Ferrous Material Specification, 2021
- [2] ASME Sect. II part C, ASME Boiler & Pressure Vessel Code Ferrous Material Specification, 2021
- [3] ASME Sect. IX, ASME Boiler & Pressure Vessel Code Ferrous Material Specification, 2021
- [4] Bagaskoro, R. A. W. D., 2018. ANALISA PENGARUH VARIASI HEAT INPUT TERHADAP CACAT PENGELASAN, LEBAR HAZ, dan KEKERASAN PADA PENGELASAN SMAW MATERIAL TEMBAGA C81300. Tugas Akhir, p. 91.
- [5] Ghasemi, R., Beidokhti, B. & Najafabadi, M. F., 2018. Effect of Delta Ferrite on The Mechanical Properties of Dissimilar Ferritic-Austenitic Stainless Steel Welds. Arch Metall, pp. 437-443.
- [6] Kumar, S. & Shahi, A., 2011. Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten ac welded AISI 304 stainless joints. Material and Design, pp. 1-7.
- [7] Kou, S., 2003. Welding Metallurgy 2nd Edition. pp. 216-232.
- [8] Kozuh, S., Gojic, M. & Kosec, L., 2009. Mechanical properties and microstructure of austenitic stainless steel after welding and post-weld heat treatment. Kovove Mater, pp. 253-262.
- [9] Liu, L. et al., 2016. Failure analysis of tube-to-tubesheet welded joints in a shell-tube heat exchanger. Hong Kong: Elsevier Ltd.
- [10] Marcelino, E., Fonseca, G. S. d. & Ferreira, E. A., 2021. Microstructural and selective dissolution analysis of 316L austenitic stainless steel. Journal of material research and technology, pp. 1-14.
- [11] Mohammed, G. R., Ishak, M., Aqida, S. N. & Abdulhadi, H. A., 2017. Effects of Heat Input on Microstructure, Corrosion and Mechanical Characteristics of Welded Austenitic and Duplex Stainless Steels : A review. Metals, pp. 1-18.
- [12] M. M. Munir, M. T. Wahyudi, H. B. Kurniyanto and D. Anggara, Modul Praktek DT NDT, Surabaya: PPNS, 2019.
- [13] Sujatmika, H., Kurniawan, B. A. & Fajarin, R., 2017. ANALISA PENGARUH GROOVE DAN GAP TERHADAP HASIL PENGELASAN SMAW BUTT JOINT BAJA AISI 1020. Surabaya: Budi agung Kurniawan.