

# ANALISIS PERBANDINGAN VARIASI DIAMETER ELEKTRODA DAN DIAMETER BAJA PENGELASAN *DOUBLE FLARE BEVEL* MATERIAL BjTP 280 TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN *METALLOGRAPHY*

Syahdan Ash Shiddieqy Suyanto<sup>1\*</sup>, Moh. Syaiful Amri<sup>2</sup>, Imam Khoirul Rohmat<sup>3</sup>

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

Email: [syahdanash@student.ppns.ac.id](mailto:syahdanash@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [amri@ppns.ac.id](mailto:amri@ppns.ac.id)<sup>2</sup>; [imamkhoirulrohmat@ppns.ac.id](mailto:imamkhoirulrohmat@ppns.ac.id)<sup>3</sup>

**Abstract** – The welding process should have a welding procedure, including the welding process on concrete reinforcing steel for construction reinforcement. In the welding process, a reference is needed to produce good weld results, called the Welding Procedure Specification (WPS). In this study using the SMAW process with BjTP 280 material with variations in steel diameter of 19 mm and 25 mm, and electrode diameters of 2.6 mm, 3.2 mm, and 4.0 mm. The welding position was 1G. The tests were visual, tensile, hardness, macro, and micro. The actual welding data in this study were entered into the Procedure Qualification Record. Tensile testing showed that all specimens were accepted according to AWS D1.4. Specimens with steel diameter variations of 19 mm and 25 mm, and electrode diameters of 2.6 mm, 3.2 mm, and 4.0 mm, produced the highest tensile stress value of 496.08 MPa; and the smallest was 408 MPa. In the hardness test, the highest value found in the HAZ BjTP 280 with a value of 233.235 kgf/mm<sup>2</sup> code A3. And the smallest hardness value found in SA-36 base metal with a value of 132.606 kgf/mm<sup>2</sup> with code A2. In the largest Macro test on B1 6.8 mm and the smallest on A1 4.9 mm. In micro testing the results tend to be the same with ferrite and pearlite structures. The welding parameters recorded in the preliminary can be used as WPS qualified.

**Keywords:** BjTP 280, Electrode diameter, flare bevel, Procedure Qualification Record, Welding Procedure Specification (WPS).

## 1. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan industri di Indonesia saat ini mengalami kemajuan yang cukup pesat. Salah satu bidangnya yaitu pengelasan karena memiliki peran yang sangat penting dimana hampir semua penyambungan logam menggunakan proses pengelasan, pada pelaksanaannya proses pengelasan digunakan di pembangunan konstruksi dan fabrikasi. Pengelasan Fusi merupakan proses menggunakan panas untuk melelehkan logam dasar. Dalam banyak operasi pengelasan fusi, logam pengisi ditambahkan ke kolam cair untuk memfasilitasi proses dan memberikan corah dan kekuatan pada sambungan las [1]. Berdasarkan Deutch Industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Proses pengelasan dapat dilakukan dalam berbagai metode pengelasan, yaitu *shield metal arc welding (SMAW)*, *gas metal arc welding (GMAW)*, *flux cored arc welding (FCAW)*, *gas tungsten arc welding (GTAW)*, dan berbagai metode pengelasan lainnya.

Baja tulangan beton merupakan baja karbon atau baja paduan yang berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau bersirip. Biasa digunakan untuk penulangan

atau penguat yang ditanamkan dalam beton maupun konstruksi lainnya, baja ini diproduksi dari bahan baku billet dengan cara hot rolling [2]. Pada sebuah proses pengelasan dibutuhkan sebuah acuan yaitu *Welding Procedure Specification (WPS)* untuk menghasilkan hasil pengelasan yang sesuai syarat keberterimaan standard, didalamnya dimuat parameter-parameter penting yang menjadi panduan saat dilakukannya pengelasan seperti proses pengelasan yang dipakai, polaritas, ampere yang digunakan, dan lainnya.

Ditemukannya pengelasan pada material baja tulangan beton polos BjTP 280 tanpa adanya panduan WPS. Pada pengelasan tersebut menggunakan proses las *Shield Metal Arc Welding (SMAW)* dengan elektroda E 7018 dengan diameter 3,2. Dari permasalahan tersebut akan dilakukan penelitian lebih lanjut terkait pengelasan material serupa dengan harapan dapat menghasilkan WPS yang *qualified* dan bisa digunakan standar acuan dalam pengelasan baja beton selanjutnya.

Pada penelitian ini bertujuan untuk memperoleh hasil data sifat mekanik material BjTP 280 setelah dilakukan proses pengelasan dengan variasi diameter pada elektroda dan diameter baja. Metode penelitian ini mengikuti

prosedur kualifikasi las pada AWS D1.4. Apabila hasil pengujian lasan sudah memenuhi standar keberterimaan pada AWS D1.4 maka hasil tersebut bisa dijadikan WPS yang *qualified*.

## 2. METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan. Tahapan ini meliputi studi literatur dan studi lapangan, pengumpulan data dan persiapan spesimen, proses pengelasan dengan variasi yang dilakukan, melakukan pengujian visual, tarik, kekerasan, makro, mikro, dan dilanjutkan dengan analisis data, pembahasan, dan kesimpulan.

### 2.1 Persiapan Material

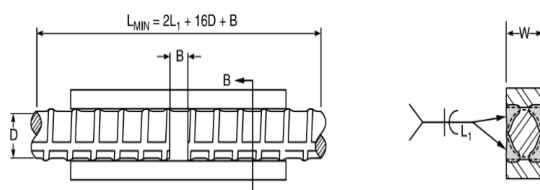
Pada penelitian ini menggunakan material BjTP 280 diameter 19 mm dan 25 mm serta material SA-36 tebal 10 mm dan 12 mm, pengelasan *double flare bevel*, dengan metode pengelasan *Shield Metal Arc Welding (SMAW)*. Elektroda yang digunakan E7018 dengan diameter 2.6, 3.2, dan 4.0. komposisi material BjTP 280 dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia BjTP 280

| Kelas Baja Tulangan | Kandungan Unsur Maksimum (%) |    |    |       |       |                   |
|---------------------|------------------------------|----|----|-------|-------|-------------------|
|                     | C                            | SI | Mn | P     | S     | C <sub>eq</sub> * |
| BjTP 280            | -                            | -  | -  | 0,050 | 0,050 | -                 |

Catatan :  
 - Toleransi nilai karbon (C) pada produk baja tulangan beton diperbolehkan lebih besar 0,03%

Adapun desain sambungan dapat dilihat pada Gambar. 1 berikut.



Gambar. 1 Desain Sambungan (Sumber : AWS D1.4, 2018)

### 2.2 Pengujian Tarik

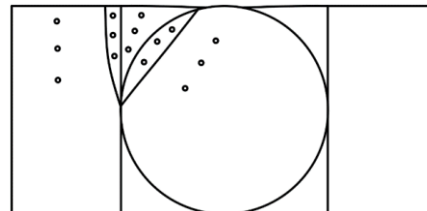
Pengujian tarik merupakan uji dimana diberikan gaya atau tegangan tarik pada material yang dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan dari material yang diuji tersebut. Pengujian ini tidak lain tujuannya adalah untuk menentukan nilai dari kekuatan tarik dari material yang diuji. Berikut contoh spesimen uji tarik yang sudah dilakukan pengelasan ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Spesimen Uji Tarik

### 2.3 Pengujian kekerasan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode Vickers yang dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter piramid intan yang ber alas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan. Pengujian ini dilakukan dengan beban 15 kgf dan waktu tunggu 15 detik. Setelah itu ukur diagonal



Gambar 3 Titik Pengambilan Pengujian

indentasi yang terbentuk, lalu lihat hasil pada mesin uji. Pengujian ini dilakukan di daerah *Weld Metal*, *Fusion Line Heat Affective Zone (HAZ)*, dan *Base Metal*. Pada tiap daerah, dilakukan indentasi sebanyak 3 kali pada titik yang berbeda. Lokasi pengambilan uji kekerasan dapat dilihat pada Gambar 3.

### 2.4 Pengujian Metalografi

Pengujian struktur makro dan mikro, yang pertama mempersiapkan spesimen terlebih dahulu dipoles menggunakan mesin dan kertas gosok hingga grade 2000 sampai terlihat sangat bersih dan tidak ada noda pada permukaannya. Setelah melakukan polishing, dilakukan etsa dengan menggunakan cairan larutan HNO<sub>3</sub> sebanyak dengan alkohol dengan rasio perbandingan 5 : 1. diuji mikro menggunakan mikroskop optic (OLYMPUS) dengan perbesaran 500x pada daerah *Heat Affected Zone (HAZ)*, *Base Metal*, dan *Weld Metal*. Kemudian dilakukan foto mikro.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses pengelasan, selanjutnya hasil data di Analisa yang meliputi pengujian *visual*, *tensile*, *hardness*, *metallography*.

### 3.1 Hasil dan Pembahasan Visual Test

Spesimen yang sudah di las dilakukan pengujian visual yang mengacu pada standard AWS D1.4, beberapa hal yang perlu diperhatikan pada uji visual meliputi *crack*, *incomplete fusion*, *craters*, *overlap*, *undercut*, dan *porosity* yang terjadi pada spesimen las. Hasil pengujian visual didapatkan bahwa seluruh spesimen diterima menurut standard keberterimaan hasil uji visual AWS D1.4. Berikut contoh spesimen yang sudah dilakukan pengelasan ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Visual Setelah Pengelasan

### 3.2 Hasil dan Pembahasan Tensile Test

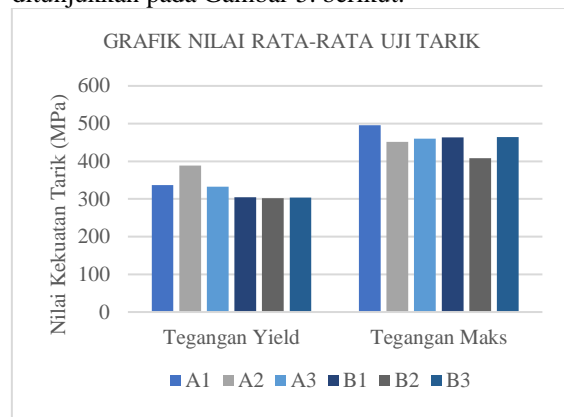
Pengujian tarik dilakukan pada spesimen las, Pengambilan spesimen uji tarik di ambil 2 spesimen pada setiap variasi utama sesuai dengan ketentuan pada AWS D1.4, total spesimen yang di uji tarik berjumlah 12. Dengan tujuan mengetahui kekuatan tarik dari material. Syarat keberterimaan pengujian tarik di jelaskan pada AWS D1.4 dimana kekuatan tarik harus melebihi 125% nilai yield material dari *base metal*. Hasil dari pengujian Tarik ditunjukkan pada Tabel. 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tensile

| Kode | Yield Strength (MPa) | Tensile Strength (MPa) | Failure | Remark |
|------|----------------------|------------------------|---------|--------|
| A1-1 | 329,32               | 487,42                 | WM      | Acc    |
| A1-2 | 344,34               | 504,74                 | BM      | Acc    |
| A2-1 | 389,56               | 438,88                 | WM      | Acc    |
| A2-2 | 387,43               | 463,74                 | WM      | Acc    |
| A3-1 | 331,78               | 446,88                 | WM      | Acc    |
| A3-2 | 333,64               | 472,77                 | WM      | Acc    |
| B1-1 | 305,62               | 428,59                 | WM      | Acc    |
| B1-2 | 304,15               | 498,00                 | BM      | Acc    |
| B2-1 | 305,10               | 457,37                 | WM      | Acc    |
| B2-2 | 299,41               | 358,63                 | WM      | Acc    |
| B3-1 | 301,22               | 427,62                 | WM      | Acc    |
| B3-2 | 305,46               | 500,13                 | BM      | Acc    |

- A1 = Diameter Baja 19 mm dan Diameter elektroda 2,6 mm
- A2 = Diameter Baja 19 mm dan Diameter elektroda 3,2 mm
- A3 = Diameter Baja 19 mm dan Diameter elektroda 4,0 mm
- B1 = Diameter Baja 25 mm dan Diameter elektroda 2,6 mm
- B2 = Diameter Baja 25 mm dan Diameter elektroda 3,2 mm
- B3 = Diameter Baja 25 mm dan Diameter elektroda 4,0 mm

Hasil pengujian tensile dalam bentuk grafik ditunjukkan pada Gambar 5. berikut.

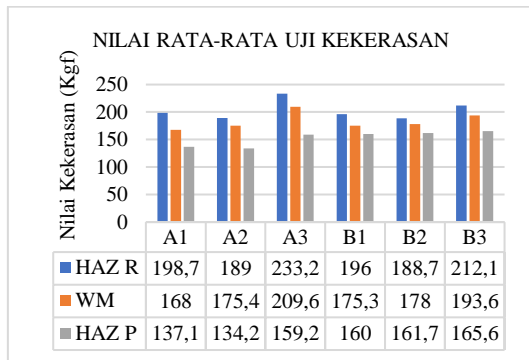


Gambar. 5 Grafik Nilai Pengujian Tarik (MPa)

Hasil dari seluruh percobaan pengujian Tarik dapat disimpulkan bahwa semua spesimen uji Tarik dinyatakan memenuhi syarat keberterimaan AWS D1.4. Nilai harus lebih dari 125% minimal nilai yield material, yaitu sebesar 350 MPa. Pada tegangan yield didapatkan spesimen yang menggunakan diameter baja tulangan beton 19 mm memiliki nilai yield yang lebih besar. Hasil yang didapatkan cenderung mengalami patah pada *weld metal* dikarenakan adanya cacat pada pengelasan, dalam sambungan las, sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las dan sifat-sifat dinamik dari sambungan berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan [3]. Selain dari segi metalurgi, hal-hal yang mempengaruhi pengujian kekuatan tarik adalah cacat pengelasan atau *discontinuity* baik yang dapat dilihat secara *visual* ataupun *interface*. Pada spesimen yang mengalami patah di *weld metal* terdapat cacat seperti porosity dan slag. Cacat pengelasan terjadi dikarenakan terjadinya ketidaksempurnaan dibagian yang dilas sehingga dapat mengakibatkan kegagalan dari sambungan las. Pada spesimen yang mengalami patah pada *base metal* diameter baja 19 mm memiliki nilai tarik lebih tinggi daripada baja B<sub>JTP</sub> diameter 25, hal tersebut dikonfirmasi melalui nilai kekerasan pada baja diameter 19 mm lebih besar.

### 3.3 Hasil dan Pembahasan Hardness Test

Pengujian kekerasan menggunakan metode *hardness vickers*. Pengujian dilakukan pada daerah HAZ B<sub>JTP</sub> 280, weld metal, HAZ SA-36 dengan total 90 titik dimana setiap daerah diambil 3 titik. Hasil dari pengujian kekerasan ditunjukkan pada Gambar 6.



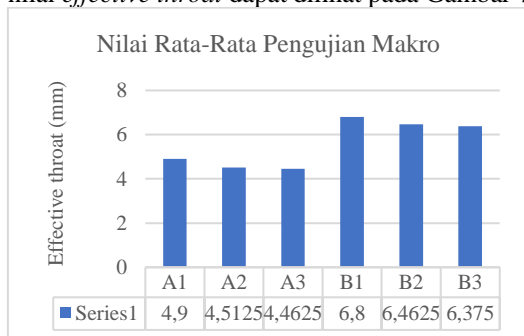
Gambar 6. Nilai Rata-Rata Uji Kekerasan (kgf/mm<sup>2</sup>)

Dari data hasil pengujian kekerasan nilai rata-rata kekerasan vickers yang terbesar terdapat pada spesimen A3 dengan diameter baja 19 mm dan diameter elektroda 4,0 mm. Dimana pada nilai kekerasan tersebut semakin besar diameter elektroda maka nilai kekerasan semakin besar. Hal tersebut dipengaruhi oleh parameter yang berbeda, semakin besar diameter elektroda maka arus yang digunakan akan semakin besar dan pada akhirnya mempengaruhi nilai *heat input* pengelasan. Ini sesuai dengan penelitian [4] “Kenaikan *heat input* akan cenderung menaikkan nilai kekerasan”. Dari hasil uji kekerasan semua spesimen tidak mengalami kenaikan kekerasan yang signifikan sehingga tidak terjadi konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan sifat mekanik yang getas. Nilai kekerasan yang semakin besar bisa dikonfirmasi dengan melihat struktur mikro dimana semakin besar diameter elektroda yang dipakai maka fasa yang terjadi di HAZ BjTP 280, HAZ SA-36, dan *weld metal* semakin didominasi oleh fasa *pearlite*.

### 3.4 Hasil dan Pembahasan Metallography Test

Pengujian *metallography* terbagi menjadi dua yaitu pengujian makro dan pengujian mikro.

1. Pengujian makro dilakukan untuk melihat hasil lasan bagian melintang yang terbebas dari retak ataupun cacat yang lain, melihat penetrasi atau *effective throat*, dan fusi lasan. Hasil pengukuran nilai *effective throat* dapat dilihat pada Gambar 7.

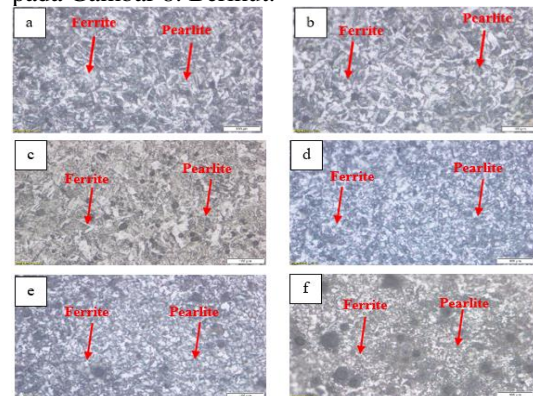


Gambar 7. Nilai Rata-Rata *Effective Throat* (mm)

Dari hasil uji makro mengenai ukuran *effective throat* pada Gambar diatas. Nilai rata-rata yang

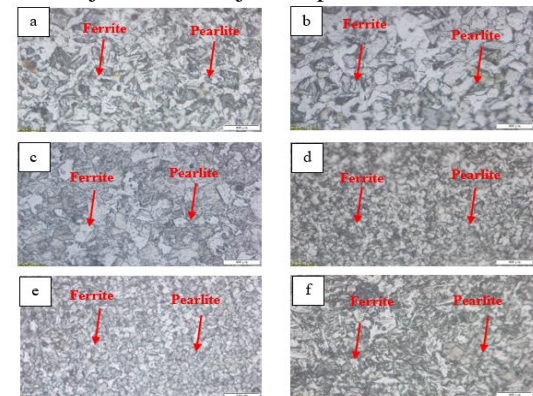
dihasilkan memenuhi standar keberterimaan pada AWS D1.4, dimana nilai *effective throat* harus lebih dari 0,4 radius BjTP 280 yang digunakan. Nilai yang dihasilkan meningkat seiring dengan baertambahnya diameter material dan ukuran *effective throat* menurun seiring bertambahnya diameter elektroda. hal tersebut dikarenakan diameter elektroda yang kecil bisa menggapai sudut kampuh yang lebih dalam.

2. Pengujian Micro dilakukan untuk menganalisa struktur mikro yang terdapat pada HAZ BjTP 280, weld metal, HAZ SA-36 dengan menggunakan perbesaran 500X. hasil pengamatan mikro struktur pada daerah HAZ BjTP 280 ditunjukkan pada Gambar 8. Berikut.



Gambar 8. *Microstructure* HAZ BjTP 280 (a). Kode A1, (b). Kode A2, (c). Kode A3, (d). Kode B1, (e). Kode B2, (f). Kode B3

Hasil pengamatan mikro struktur pada daerah HAZ BjTP 280 ditunjukkan pada Gambar 9.

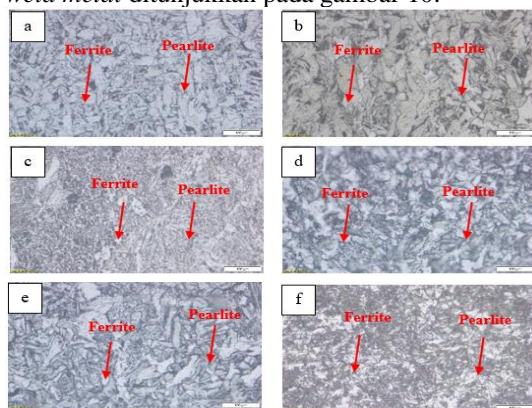


Gambar 9. *Microstructure* SA-36 280 (a). Kode A1, (b). Kode A2, (c). Kode A3, (d). Kode B1, (e). Kode B2, (f). Kode B3

Dapat diketahui bahwa fasa yang terdapat pada HAZ BjTP 280 dan HAZ SA-36 dengan perbesaran 500X adalah ferrite dengan warna terang dan pearlite dengan warna yang lebih gelap [4]. Pada Gambar diatas menunjukkan adanya penurunan dominasi struktur *ferrite* yang ditandai dengan struktur yang berwarna gelap lebih mendominasi, Struktur yang dominan lebih banyak struktur *pearlite* sehingga daerah HAZ

lebih gelap dari daerah lainnya bisa terlihat butirannya lebih halus dan lebih tajam pada batas butirnya. Hal tersebut mempengaruhi pada nilai kekerasan karena fasa *pearlite* lebih keras dari pada fasa *ferrite*. Sifat *pearlite* lebih keras dan lebih kuat dari *ferrite* tetapi kurang ulet dan tidak magnetis [5] Daerah HAZ pada material BjTP 280 lebih banyak fasa *pearlite* daripada daerah HAZ SA-36 hal tersebut yang menjadikan HAZ Roundbar lebih keras. Daerah HAZ lebih banyak fasa *pearlite* hal ini dikarenakan selama proses pengelasan daerah HAZ mengalami pemanasan atau kenaikan *temperature* yang lebih tinggi daripada daerah *base metal* dengan laju pendinginan yang cepat. Penambahan ukuran diameter cenderung menaikkan kandungan *pearlite* yang akan menjadikan daerah tersebut semakin keras.

Hasil pengamatan mikro struktur pada daerah *weld metal* ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. *Microstructure Weld Metal* (a). Kode A1, (b). Kode A2, (c). Kode A3, (d). Kode B1, (e). Kode B2, (f). Kode B3

Dari Gambar diatas merupakan hasil pengujian struktur mikro pada daerah *weld metal*. yang menunjukkan struktur *ferrite* dan *pearlite* yang ditunjukkan pada panah diatas. Dimana perbedaan diameter elektroda yang berdampak ke *heat input* dikarenakan pada proses pengelasan spesimen uji menggunakan parameter pengelasan yang berbeda. Hal tersebut mengakibatkan perbedaan yang terjadi pada struktur mikro, semakin besar diameter menghasilkan dominasi *pearlite* sehingga mengarah ke kekerasan yang semakin besar. Selaras dengan penelitian [6]. Pengelasan menggunakan variasi diameter elektroda mempengaruhi struktur mikro. Fasa yang mendominasi pada *weld metal* adalah *pearlite* menunjukan warna ke abu abuan dengan ukuran yang besar dan memanjang serta hitam gelap ukuran kecil serta menyebar secara merata. Untuk *ferrite* mengikuti bentuk memanjang dan lebih tipis dan lebih sedikit.

#### 4. KESIMPULAN

Tegangan Tarik Maksimal: Semua nilai tegangan tarik maksimal dari spesimen uji memenuhi kriteria penerimaan pengujian tarik berdasarkan AWS D1.4. Spesimen dengan material diameter 19 dan diameter elektroda 2.6, 3.2, dan 4.0 memiliki nilai tegangan tarik berturut-turut 496,08; 451,31; dan 459,825 MPa. Sementara spesimen dengan material diameter 25 dan diameter elektroda 2.6, 3.2, dan 4.0 memiliki nilai tegangan tarik berturut-turut 463,295; 408; dan 463,875 MPa.

Kekerasan: Diameter elektroda yang lebih besar menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi ditemukan pada bagian *weld metal* dari spesimen dengan diameter elektroda 4,0 mm, yaitu sebesar 209,583 kgf/mm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai kekerasan terendah pada *weld metal* terdapat pada spesimen dengan diameter elektroda 2,6 mm, yaitu sebesar 167,996 kgf/mm<sup>2</sup>.

Uji Makro dan Struktur Mikro: Semua hasil uji makro pada spesimen uji memenuhi kriteria penerimaan pengujian makro berdasarkan AWS D1.4. Variasi diameter baja dan diameter elektroda menyebabkan perbedaan dalam kedalaman atau ukuran *effective throat*. Ukuran diameter baja yang lebih besar meningkatkan *effective throat*, sedangkan ukuran diameter elektroda yang lebih besar menurunkan *effective throat*. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa pada *base metal* dan HAZ terdapat struktur *Ferrite* (terang) dan *Pearlite* (gelap). Di *weld metal*, terbentuk fasa *Acicular Ferrite* yang berbentuk tajam dan *Widmanstatten Ferrite* yang memiliki koloni dominan pada fasanya

#### 7. PUSTAKA

- [1] Y Al-Qenaei, A.A. (2016) *Fusion Welding Techniques, Journal of Engineering Research and Application*.
- [2] BSN. (2017). *Baja Tulangan Beton*. Jakarta: BSN.
- [3] AWS D1.4. (2018). *Structural Welding Code-Steel Reinforcing Bars* (08 ed.). Danvers : *American Welding Society*.
- [4] Wibowo, H., Iman, M.N. and Tri Iswanto, P. (2016) 'Analisa Heat Input Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36'.
- [5] Robert F, M. (1972) 'Metals Handbook Atlas of Microstructures of Industrial Alloys'. United State of America: *American Society for Metals*.
- [6] Istianto Budhi Rahardja et al. (2021) 'Analisis Pengaruh Radius Bending Pada Proses Bending Menggunakan Pelat Spcc-Sd Terhadap Perubahan Struktur Mikro'.

- [7] Wiryosumarto, H., & Okummura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [8] Rizal Abdul Aziz, S. H. (2019). Pengaruh Variasi Diameter Elektroda E7018 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Pengelasan Pada Baja Karbon Rendah Jenis SS400 Dengan Metode SMAW, *Jurnal Teknik*, 17, 94-105.