



Research Article

Efek Perbaikan Las Berulang (*Multilayer Repair Welding*) pada Baja Carbon SS400 terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan

**Burhanudin<sup>1</sup>, Moch Chamim<sup>1</sup>, Fatimah Nur Hidayah<sup>1</sup>, Bagus Radiant Utomo<sup>2</sup>, Radik Syamsul Erfan<sup>1</sup>  
Nugroho Tri Atmoko<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya

\*Corresponding author : [nugroho.ta@sttw.ac.id](mailto:nugroho.ta@sttw.ac.id)

**Article History:**

Online first:

25 June 2022

**Keywords:** *Multilayer welding; repair welding; SMAW; microstructure; hardness vickers*

**ABSTRACT**

*One method to eliminate weld defects is to repair welding. This study will present the characteristics of the SS400 type carbon steel material before and after undergoing repair welding. Welding was carried out using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method with LB-52U E7016 type electrode which has a diameter of 2.6 mm. Prior to welding repairs, the specimen underwent multilayer welding three times, namely the rootpass, layers and capping. After repairing the weld, the specimen was analyzed for changes in its microstructure by morphological testing in the form of micro photos and mechanical properties using the Vickers hardness test in each part of the welding zone, namely the base metal, Heat Affected Zone (HAZ) and the welding area on the specimen before and after multilayer repair welding. The results of the analysis showed that the microstructure of the specimen before and after welding repairs contained 2 visible phases, namely the ferrite phase and the pearlite phase. In the base metal the ferrite phase dominates with grain boundaries that tend to be large in the specimens before and after welding repair. Meanwhile, in the HAZ region grain coarsening is seen. The results of micro photos in the weld after undergoing welding repair are dominated by the pearlite phase with the grain size tends to be larger. The results of the Vickers hardness test show that the highest hardness is located in the weld, namely 177.53 HVN when the specimen has not been repaired, whereas after experiencing improvement the hardness value in the weld is 5.8% to 167.06 HVN.*

**ABSTRAK**

Salah satu metode untuk menghilangkan cacat pada hasil pengelasan adalah dengan melakukan perbaikan las (*repair welding*). Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi karakteristik material baja carbon tipe SS400 sebelum dan

**Kata Kunci:** Las berulang; perbaikan las; SMAW; struktur mikro; kekerasan vickers

sesudah mengalami perbaikan las (*repair welding*). Pengelasan dilakukan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan elektroda jenis LB-52U E7016 yang memiliki diameter 2,6 mm. Sebelum dilakukan perbaikan las (*repair welding*), dilakukan pengelasan berlapis (*multilayer welding*) pada spesimen sebanyak tiga kali lapisan yakni lapisan *rootpass*, *hotpass* dan *capping*. Kemudian spesimen yang telah mengalami pengelasan berlapis (*multilayer welding*) dilakukan perbaikan las (*repair welding*) pada daerah kawah lasan (*weld*). Spesimen selanjutnya dianalisa terhadap perubahan struktur mikro menggunakan pengujian morfologi berupa foto mikro serta sifat mekanik menggunakan uji kekerasan Vickers disetiap daerah lasan yakni logam induk (*base metal*), *Heat Affected Zone* (HAZ) dan daerah pengelasan (*weld*) pada spesimen sebelum dan sesudah perbaikan las berulang (*multilayer repair welding*). Hasil dari analisa menunjukkan bahwa struktur mikro spesimen sebelum dan sesudah perbaikan las terdapat 2 fasa yang terlihat yakni fasa ferit dan fasa perlit. Pada daerah *base metal* fasa ferit lebih mendominasi dengan batas butir yang cenderung besar pada spesimen sebelum dan sesudah perbaikan las. Sedangkan pada daerah HAZ terlihat pengkasaran butir (*grain coarsened*). Hasil foto mikro pada daerah *weld* setelah mengalami perbaikan las didominasi oleh fasa perlit dengan ukuran butir cenderung lebih besar. Hasil pengujian kekerasan Vickers menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi terletak pada bagian *weld* yakni 177.53 HVN ketika spesimen belum mengalami perbaikan, sedangkan setelah mengalami perbaikan nilai kekerasan pada daerah *weld* justru menurut sebesar 5.8% menjadi 167.06 HVN.

## PENDAHULUAN

Dalam proses penyambungan logam, metode pengelasan (*Welding*) merupakan salah satu proses penyambungan yang umum dilakukan [1]. Proses penyambungan menggunakan metode las banyak digunakan pada industri otomotif, manufaktur, pemipaan dan lain-lain [2]. Untuk memperpanjang umur suatu sambungan logam hasil pengelasan, perlu dilakukan pemeliharaan dan inspeksi. Pemeliharaan serta inspeksi tersebut akan menghasilkan suatu temuan berupa cacat atau kerusakan. Selain itu cacat yang terbentuk pada sambungan akibat pengelasan harus diperbaiki untuk memastikan kualitas sambungan dan memperpanjang umur pakai [3]. Salah satu metode untuk memperbaiki cacat pada sambungan tersebut adalah dengan perbaikan las (*welding repair*). Perbaikan las pada umumnya terdiri dari pelepasan bagian las dan penempatan ulang elektroda las pada bagian tersebut menggunakan parameter yang sama. Memperbaiki bagian las akan menyebabkan siklus termal tambahan, yang dapat merubah sifat fisis dan mekanis dari material hasil pengelasan [4].

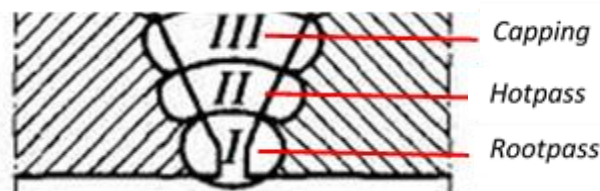
Penelitian tentang perbaikan hasil las pernah dilakukan oleh Muhamad dkk., pada penelitian tersebut material Duplex Stainless Steel UNS S32760 yang sebelumnya telah mengalami pengelasan dilakukan perbaikan las menggunakan metode SMAW. Terdapat 3 variasi *heat input* pada proses pengelasan yakni 1.394 kJ/mm, 1.111 kJ/mm dan 1.347 kJ/mm. Pengujian impak, kekerasan Vickers dan foto mikro dilakukan untuk mengetahui karakteristik sambungan. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan heat input 1.111 kJ/mm memiliki sifat mekanik yang mendekati logam induknya [5]. Selanjutnya Deny dkk [6]., melakukan analisa

kekuatan mekanik baja karbon rendah setelah mengalami perbaikan las (*welding repair*) Pada Pengelasan SMAW Dengan memvariasikan Elektroda las. Tujuan penelitian adalah mengetahui *elektroda* yang sesuai untuk pengelasan material baja karbon rendah serta mendapatkan informasi sifat mekanik yang optimum. Posisi pengelasan 1G digunakan dalam penelitian ini selain itu, *elektroda* RB-26 dan RD-260 dengan diameter 2,6 mm dimanfaatkan sebagai variasi penelitian. Selain itu jenis elektroda, variasi juga dilakukan pada arus pengelasan. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan Vickers dan pengujian struktur *mikro*. Hasil menunjukkan bahwa pengelasan menggunakan elektroda RB-26 memiliki nilai kekerasan tertinggi disemua bagian baik *base metal*, HAZ dan *weld*, dibanding dengan menggunakan elektroda RD-260.

Investigasi terhadap perbaikan las berulang (*multilayer repair welding*) pada baja carbon SS400 belum dilakukan. Oleh karena itu, pada penelitian ini disajikan karakteristik material baja carbon tipe SS400 sebelum dan sesudah mengalami perbaikan las. Analisa dilakukan pada perubahan struktur mikro dengan pengujian morfologi berupa foto mikro serta sifat mekanik menggunakan uji kekerasan Vickers disetiap bagian zona pengelasan yakni logam induk (*base metal*), *Heat Affected Zone* (HAZ) dan daerah pengelasan (*weld*) pada spesimen sebelum dan sesudah perbaikan las berulang (*multilayer repair welding*).

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini baja carbon jenis SS400 digunakan sebagai material induk (*raw material*) yang nantinya akan mengalami proses perbaikan las (*repair welding*). Komposisi kimia pipa baja carbon jenis SS400 diberikan pada **Tabel 1**, sedangkan sifat mekanik dari material SS400 dapat dilihat pada **Tabel 2**. Metode las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) digunakan dalam penelitian ini, sedangkan elektroda yang digunakan menggunakan jenis LB-52U E7016 dengan diameter 2,6 mm. Sebelum mengalami perbaikan las (*repair welding*), dilakukan pengelasan berlapis sebanyak tiga kali lapisan (*multilayer welding*) yakni lapisan *rootpass*, *hotpass* dan *capping*. Skema pengelasan *multilayer welding* pada material SS400 dapat dilihat pada **Gambar 1**. Arus pengelasan pada tiap-tiap lapisan berbeda yakni pada lapisan *rootpass* digunakan arus 70A, pada lapisan *hotpass* 80A dan 90A pada lapisan *capping*. Kemudian tahap selanjutnya adalah melakukan perbaikan las (*repair welding*) dengan cara membuang sebagian daerah lasan yang terdapat cacat akibat pengelasan awal, selanjutnya dilakukan pengelasan ulang dengan parameter yang sama.



**Gambar 1.** Skema pengelasan berulang pada material SS400

Pengujian dilakukan terhadap sifat mekanis spesimen hasil pengelasan sebelum mengalami perbaikan las (*non-repair welding*) dan setelah mengalami perbaikan las (*repair welding*). Pengujian kekerasan specimen menggunakan metode Vickers sesuai dengan standar ASTM E92 [7]. Pengujian untuk mengetahui struktur material dalam skala mikro pada spesimen sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan las menggunakan uji Vickers, pengujian metalografi menggunakan

metode foto mikro juga dilakukan pada penelitian ini. Perbesaran lensa yang digunakan pada pengujian metalografi tersebut adalah sebesar 1000x.

**Tabel 1.** Komposisi Kimia Baja Carbon SS400 [8]

| Unsur          | Carbon (C) | Manganese (Mn) | Silikon (Si) | Sulfur (S) | Posfor (P) |
|----------------|------------|----------------|--------------|------------|------------|
| Presentase (%) | 0,198      | 0,298          | 0,149        | 0,050      | 0,050      |

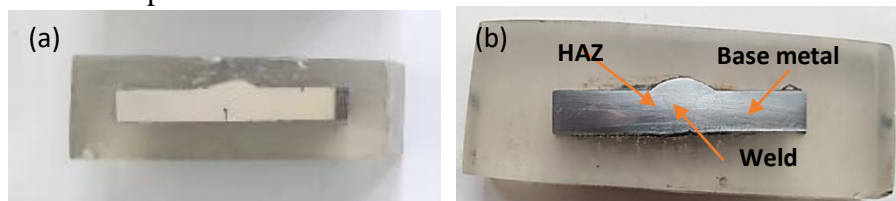
**Tabel 2.** Sifat mekanik Baja Carbon SS400 [8]

| No | Sifat Mekanik                   | Nilai     |
|----|---------------------------------|-----------|
| 1  | <i>Tensile Strength</i> ( Mpa ) | 400 – 510 |
| 2  | <i>Yield Strength</i>           | 205 – 245 |
| 3  | <i>Elongation/</i> ( % )        | 27 – 30   |
| 4  | <i>Young Modulus</i>            | 190 – 210 |
| 5  | <i>Poisson Ratio</i>            | 0,26      |
| 6  | <i>Density</i> ( kg )           | 7860      |
| 7  | <i>Hardness Vickers</i> ( HV )  | 130       |

## HASIL DAN DISKUSI

### Makro struktur

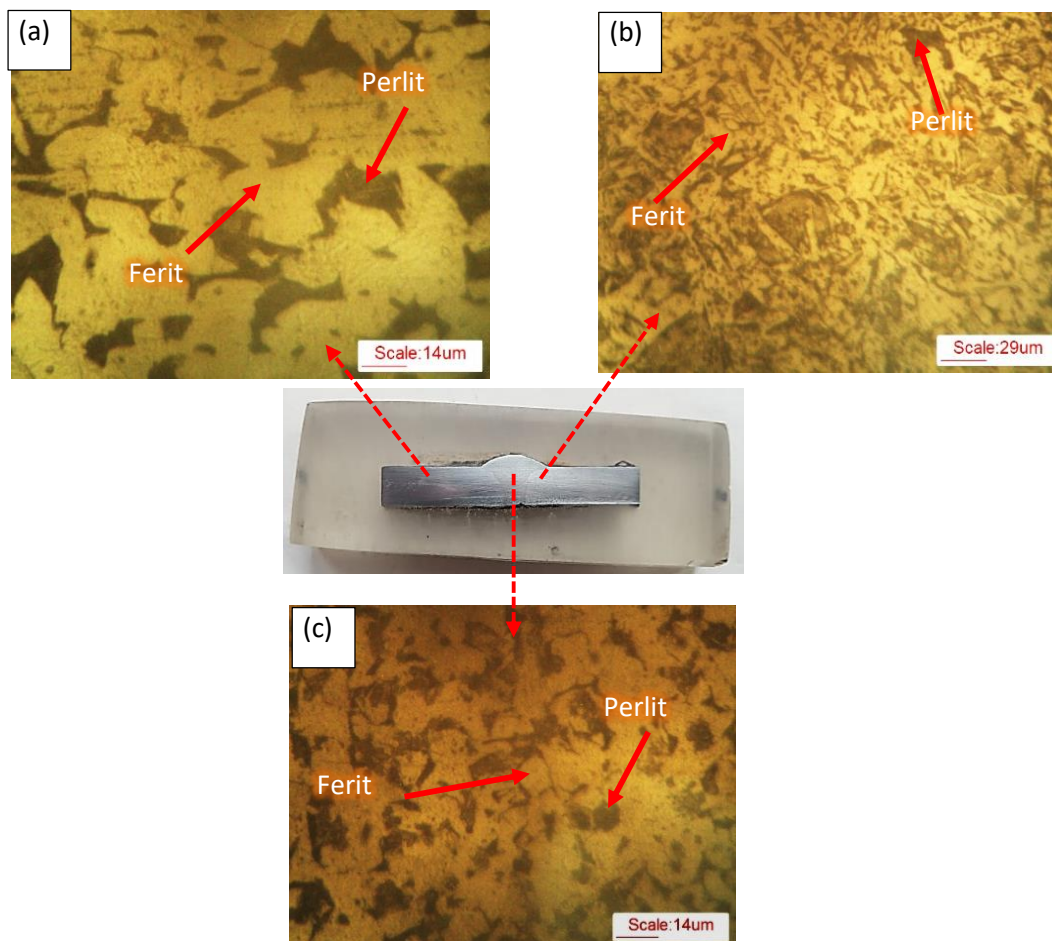
**Gambar 2.** Merupakan foto makro spesimen lasan sebelum dan setelah mengalami perbaikan las. Selain foto makro, pada penelitian ini juga ditampilkan tentang pengujian mikro yang ditunjukkan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Tujuan dari pengujian foto mikro adalah untuk mengetahui karakteristik material sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan las. Pengujian foto mikro nantinya menggunakan *inverted metallurgical microscope* dengan standar ASTM E407-07 serta dilakukan pada 3 daerah tiap-tiap spesimen, yaitu daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld*. Pengujian foto mikro ini menggunakan 1000X pembesaran.



**Gambar 2.** Spesimen hasil lasan; (a) sebelum dan (b) sesudah mengalami perbaikan las

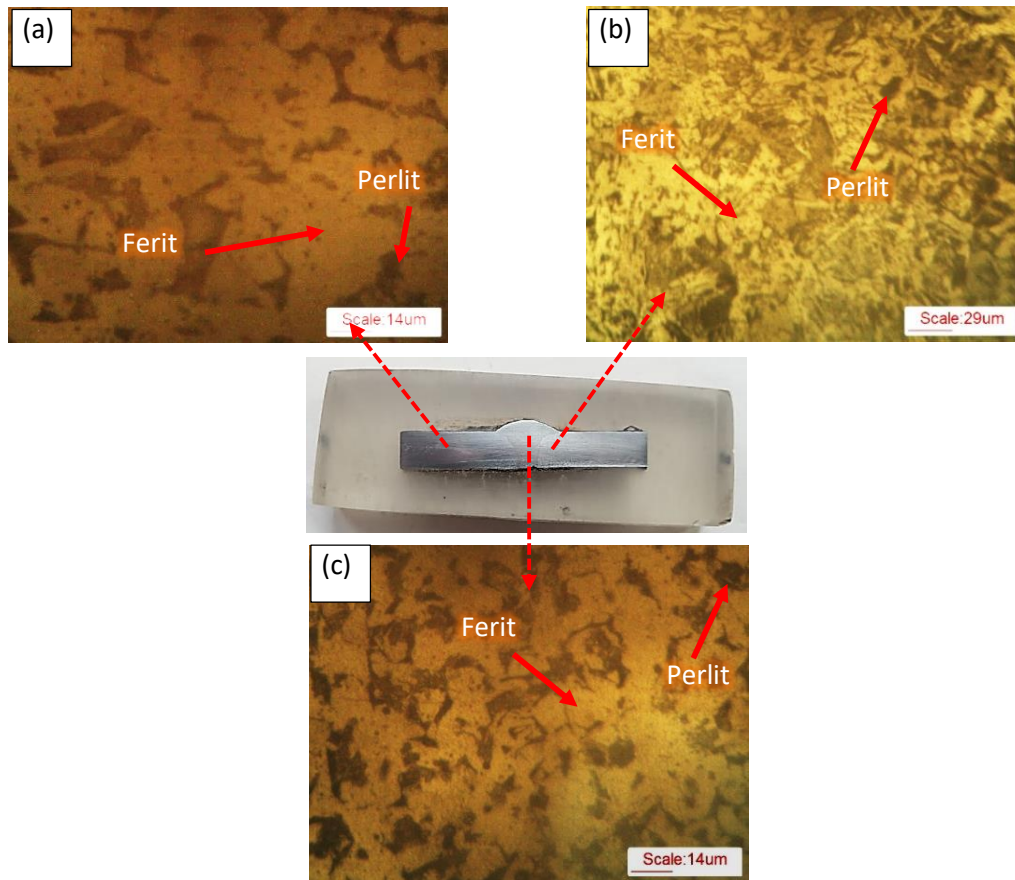
Hasil pengujian foto mikro pada spesimen sebelum dan sesudah perbaikan las dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Dari gambar tersebut diperoleh informasi bahwa terdapat 2 fasa yang terbentuk yakni fasa ferit dan fasa perlit. Fasa ferit dicirikan dengan warna terang sedangkan fasa perlit dicirikan dengan warna yang gelap. **Gambar 3** merupakan hasil foto mikro material sebelum mengalami perbaikan las, pada **Gambar 3.a** fasa ferit terlihat lebih mendominasi akan tetapi foto

mikro daerah HAZ yang dapat dilihat pada **Gambar 3.b** terlihat pengkasaran butir (*grain coarsened*) pada fasa yang terlihat. Sedangkan pada daerah *weld* pada **Gambar 3.c** fasa perlit lebih mendominasi serta ukuran dari batas butir yang semakin kecil jika dibandingkan dengan daerah *base metal*. Hasil pengujian foto mikro pada spesimen setelah mengalami perbaikan las dapat dilihat pada **Gambar 4**. Dari Gambar 4 menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan spesimen sebelum mengalami perbaikan las, dimana terdapat 2 fase yang terlihat yakni fase perlit dan ferit. Akan tetapi ukuran butir yang terlihat cenderung lebih besar dan renggang pada daerah HAZ dan *weld* jika dibandingkan dengan spesimen sebelum mengalami perbaikan las. Sedangkan pada daerah *base metal* memiliki kecenderungan ukuran butir yang sama dengan spesimen sebelum mengalami perbaikan las. Ukuran butir (*grain size*) yang terlihat pada citra struktur mikro **Gambar 3** dan **Gambar 4** akan mempengaruhi sifat mekanik khususnya tingkat kekerasan sesuai dengan hukum *Hall petch* (*Hall petch law*) dimana semakin kecil batas butir yang terlihat maka nilai kekerasan yang terukur semakin besar [9][10] [11].



**Gambar 3.** Hasil foto mikro spesimen tanpa perbaikan las (*non-repair welding*);  
(a) *Base metal*, (b) HAZ dan (c) *Weld*





**Gambar 4.** Hasil foto mikro spesimen setelah mendapatkan perbaikan las (*repair welding*); (a) *Base metal*, (b) HAZ dan (c) *Weld*

#### Kekerasan *Vickers*

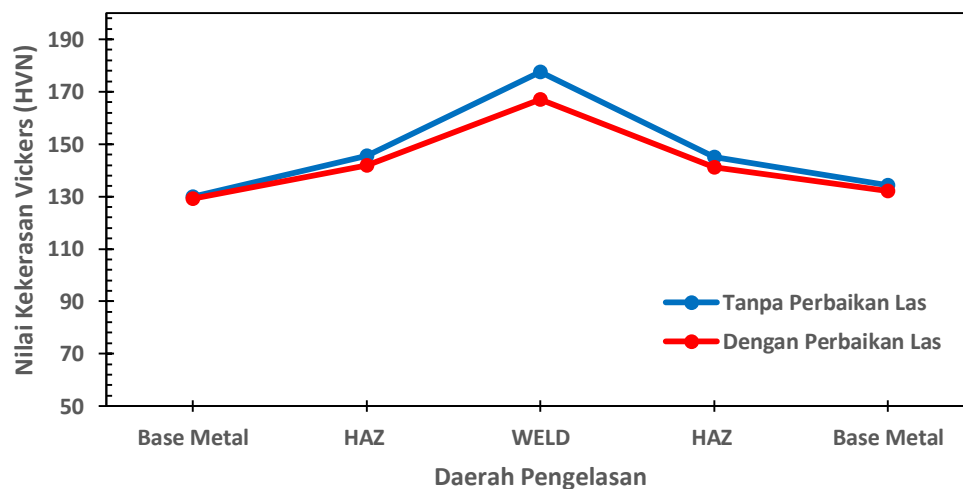
Pengujian kekerasan pada penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh perbaikan las terhadap sifat mekanik spesimen menggunakan pengujian kekerasan *Vickers* sesuai dengan standar ASTM E92 [12]. Pengujian kekerasan *Vickers* dilakukan pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld*. Pada daerah pengujian tersebut masing-masing dilakukan sebanyak 9x uji keras *Vickers*, kemudian dihitung nilai rata-rata untuk tiap-tiap daerah pengujian tersebut. Nilai rata-rata dari pengujian kekerasan *Vickers* ditampilkan pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Hasil kekerasan *Vickers* spesimen tanpa perbaikan dan dengan perbaikan las

| Daerah Las        | Nilai Kekerasan <i>Vickers</i> (HVN)                  |                                                  |
|-------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                   | Dengan Perbaikan las<br>( <i>Non-Repair Welding</i> ) | Tanpa perbaikan las<br>( <i>Repair Welding</i> ) |
| <i>Base metal</i> | 129.95                                                | 129.19                                           |
| <b>HAZ</b>        | 145.64                                                | 141.85                                           |
| <i>Weld</i>       | 177.53                                                | 167.06                                           |

|                   |        |        |
|-------------------|--------|--------|
| <b>HAZ</b>        | 145.10 | 141.23 |
| <b>Base metal</b> | 134.23 | 132.10 |

Untuk memudahkan analisa dari **Tabel 2** tersebut dibuat grafik pada **Gambar 5**. **Gambar 5** menunjukkan nilai kekerasan Vickers pada bagian *base metal*, HAZ dan *weld* untuk masing-masing spesimen. Nilai kekerasan yang dihasilkan menunjukkan semakin ketengah spesimen kekerasan yang terukur akan semakin meningkat, hal tersebut berlaku untuk semua spesimen baik spesimen tanpa perbaikan las maupun spesimen dengan perbaikan las. Akan tetapi kekerasan tertinggi terletak pada bagian *weld* yakni 177.53 HVN ketika spesimen belum mengalami perbaikan, sedangkan setelah mengalami perbaikan nilai kekerasan pada daerah *weld* justru menurun sebesar 5.8% menjadi 167.06 HVN. Hal tersebut dapat terjadi karena efek panas yang ditimbulkan selama proses pengelasan berlangsung, hal ini pula yang dapat merubah struktur material.



**Gambar 5.** Perbandingan nilai kekerasan *Vickers* spesimen tanpa perbaikan las (*non-repair welding*) vs dengan perbaikan las (*repair welding*).

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa hasil struktur mikro spesimen sebelum dan sesudah perbaikan las terdapat 2 fasa yang terlihat yakni fasa ferit dan fasa perlit. Pada daerah *base metal* fasa ferit lebih mendominasi dengan batas butir yang cenderung besar pada spesimen sebelum dan sesudah perbaikan las. Sedangkan pada daerah HAZ terlihat pengkasaran butir (*grain coarsened*). Hasil foto mikro pada daerah *weld* setelah mengalami perbaikan las didominasi oleh fasa perlit dan ukuran butir cenderung lebih besar. Hasil pengujian kekerasan *Vickers* menghasilkan kesimpulan bahwa kekerasan tertinggi terletak pada bagian *weld* yakni 177.53 HVN ketika spesimen belum mengalami perbaikan, sedangkan setelah mengalami perbaikan nilai kekerasan pada daerah *weld* justru menurun sebesar 5.8% menjadi 167.06 HVN.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] G. Trisdianto and M. Choifin, “Analisa Pengaruh Variasi Multiple Repair Dan Tanpa Repair Pada Pengelasan Fcaw Baja Karbon Jis G3106 Sm 490 Yb Terhadap Sifat Mekanik,” *J. Teknol. Terap. G-Tech*, vol. 2, no. 2, pp. 153–162, 2020, doi: 10.33379/gtech.v2i2.337.
- [2] I. AghaAli, M. Farzam, M. A. Golozar, and I. Danaee, “The effect of repeated repair *welding* on mechanical and corrosion properties of stainless steel 316L,” *Mater. Des.*, vol. 54, no. February 2020, pp. 331–341, 2014, doi: 10.1016/j.matdes.2013.08.052.
- [3] W. Jiang, Y. Luo, G. Zhang, W. Woo, and S. T. Tu, “Experimental to study the effect of multiple *weld*-repairs on mikrostructure, hardness and residual stress for a stainless steel clad plate,” *Mater. Des.*, vol. 51, pp. 1052–1059, 2013, doi: 10.1016/j.matdes.2013.05.027.
- [4] N. CheLah and M. H. Hussin, “Repeated *Weld* Repair and its Influence on *Welded* Carbon Steel,” *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 714–722, 2020, doi: 10.35940/ijeat.b3234.029320.
- [5] M. N. Juanda, H. Oktadinata, and T. -, “Pengaruh *Welding* Repair Terhadap Sifat Mekanik Pada Pengelasan Gtaw Baja Duplex Uns S32760,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 87–93, 2020, doi: 10.33558/jitm.v7i2.1919.
- [6] D. P. Kosasih, F. Nurramdhan, and A. R. H. Hakim, “Analisa Perbandingan Pengaruh *Welding* Repair Pada Pengelasan SMAW Dengan Menggunakan Elektroda RB -26 Kobe Steel dan RD-260 Nikko Steel Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah,” *J. Mesa*, no. ISSN : 23-55-9241, p. 8, 2017.
- [7] S. Astm *et al.*, “Mikroindentation Kekerasan Bahan,” vol. 15, pp. 1–24, 2002.
- [8] BebonChina, “JIS G3101 SS400 steel plate / sheet for general purpose structural steels.” Bebon steel, Zhengzhou, p. 86011881, 2018.
- [9] N. T. Atmoko, “Analisa Jenis Fluida Pendingin Proses Quenching pada Besi Cor Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro,” vol. 23, no. 3, pp. 26–30, 2021.
- [10] M. Kato, “Hall - Petch Relationship and Dislocation Model for Deformation of Ultra fine-Grained and Nanocrystalline Metals,” vol. 55, no. 1, pp. 19–24, 2014.
- [11] Margono, B. H. Priyambodo, and K. C. Nugroho, “Pengaruh Laju Pendingin Pada Proses Heat Treatment Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon S45C,” *J. Creat. Res. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 60–66, 2021.
- [12] G. D. Quinn, R. Gettings, and L. K. Ives, “A standard reference material for Vickers hardness of ceramics and Hardmetals,” *IMEKO TC5 Conf. Hardness Meas. Theory Appl. Lab. Ind. HARDMEKO 2004*, pp. 90–97, 2004.