

ANALISIS VARIASI *MULTIPLE REPAIR* PENGELASAN *FCAW* MATERIAL HSLA SM490YA

Mohammad Thoriq Wahyudi¹, Moh Syaiful Amri¹, Muhamad Ari¹, Mukhlis¹, Fais Hamzah²,
Azriel Harsha Novaldi¹

¹Program Studi Teknik Pengelasan, Pliteknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih Sukolilo Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60111

²Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Pliteknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih Sukolilo Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60111

Email: thoriq@ppns.ac.id, amri@ppns.ac.id, m.ari@ppns.ac.id, mukhlis.adam@ppns.ac.id,
fais.hamzah@ppns.ac.id, harshanovaldi@gmail.com

Abstrak

End plate adalah bagian penting dalam struktur karena berfungsi sebagai tempat menghubungkan balok dengan kolom. Pengelasan pada sambungan antara *End plate* dan balok harus dipertimbangkan dengan baik dalam proses pengerjaannya. Ada kesalahan pada pengelasan, ketidaksesuaian atau kecacatan dalam sambungan bisa menyebabkan *repair* pada sambungan las. Banyaknya proses *repair* dapat menyebabkan deformasi material. Penelitian ini menganalisis *multiple repair welding* dan *temperatur quenching* pada proses *heat straightening* material HSLA SM490YA terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada material HSLA SM490YA menggunakan pengelasan *FCAW*. Jumlah *repair* yang dibandingkan adalah tanpa *repair*, 2 kali *repair*, dan 3 kali *repair* pada kedalaman 50% dari. Dilakukan *heat straightening* pada material yang *direpair* dengan temperatur 650°C. Setelah itu, material di-*quenching* pada temperatur 300°C. Hasil uji kekerasan tertinggi pada daerah HAZ dengan variasi *repair* 3 kali yaitu variasi senilai 206.83 kgf/mm². Pada penelitian ini terdapat beberapa fasa struktur mikro yaitu *ferrite*, *accicular ferrite*, dan *pearlite*. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa proses *repair* setelah pengelasan dengan *quenching* pada *heat straightening* menyebabkan keanikan nilai kekerasan. Ini mengakibatkan ukuran butir menjadi lebih halus dan fasa material didominasi oleh *pearlite*.

Kata Kunci: *Heat Straightening*; Kekerasan; *Multiple Repair*; Struktur Mikro

Abstract

The end plate is an important part of the structure because it functions as a place to connect the beam to the column. The welding of the connection between the end plate and the beam must be carefully considered in the work process. There are errors in welding, discrepancies, or defects in the connection that can cause repairs to the welded joint. Many repair processes can cause material deformation. This research analyzes the effects of multiple repair welding and quenching temperatures in the heat straightening process of HSLA SM490YA material on the hardness and microstructure values of HSLA SM490YA material using *FCAW* welding. The number of repairs compared was no repair, 2 repairs, and 3 repairs at a depth of 50%. Heat straightening is carried out on the repaired material at a temperature of 650 °C. After that, the material is quenched at a temperature of 300 °C. The highest hardness test results were in the HAZ area with 3 repair variations, namely variations worth 206.83 kgf/mm². In this research, there are several microstructural phases, namely ferrite, accicular ferrite, and pearlite. In this research, it was found that the repair process after welding by quenching the heat and straightening caused an increase in the hardness value. This results in the grain size becoming finer and the material phase being dominated by pearlite.

Keyword: Heat Straightening; Hardness; Microstructure; Multiple Repair;

1. PENDAHULUAN

Selama proses fabrikasi konstruksi *pipe rack*, dalam penghubung girder digunakan *CJP groove weld*, di mana *End plate* yang ada pada *item* girder ini sangat penting karena menopang beban dinamik yang tersebar ke seluruh struktur baja. Risiko kegagalan dalam proses pengelasan bisa mengakibatkan konsentrasi tegangan yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktural seperti kesalahan sudut pengelasan dan penurunan

kualitas pengelasan yang bisa menghasilkan cacat. Oleh karena itu, setelah proses pengelasan selesai, inspeksi las diperlukan untuk memeriksa apakah ada cacat yang timbul setelah proses pengelasan.

Dalam beberapa kasus, temuan pada *item* girder menunjukkan adanya indikasi ketidaksesuaian pada sambungan las saat pengujian *Ultrasonic Testing* NDE dilakukan. Oleh karena itu, *repair* diperlukan untuk menghilangkan indikasi tersebut. *Repair* ini memiliki dampak yang signifikan pada daerah

HAZ (*Heat Affected Zone*) dan sambungan las, yang perlu diperhatikan dengan cermat. Tingginya input panas dapat menyebabkan deformasi pada material, terutama di sekitar sambungan las [1].

Untuk mengatasi deformasi pada komponen tersebut, digunakan tindakan *heat straightening* untuk mengembalikan geometri yang sejajar. Pemilihan suhu *heat straightening* memiliki implikasi signifikan pada karakteristik mekanik dari *End plate* tersebut. Peningkatan suhu *heat straightening* secara bertahap dapat meningkatkan kekuatan tarik, tetapi sebaliknya dapat mengurangi ketangguhan material [2]. Selama inspeksi, proses *repair* menggunakan metode *heat straightening* dimana tahap cold working, kemudian pemanasan (*heating*), dan pendinginan tiba-tiba dengan air (*quenching*). Metode ini berpengaruh untuk mengubah struktur mikro material yang terdeformasi [3]. Proses *repair* dengan metode *heat straightening* juga bisa memengaruhi sifat mekaniknya [4]. Selain itu, suhu dan media pendinginan yang digunakan dalam proses *repair* deformasi harus sesuai dengan persyaratan yang dijelaskan dalam Clause 7 Fabrication, C7.25.2 *Heat straightening* [5].

Berdasarkan permasalahan tersebut, dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memvariasikan multiple *repair* dan *temperatur quenching* untuk mengetahui nilai uji kekerasan dan struktur mikro hasil proses *heat straightening* pada pengelasan FCAW menggunakan material HSLA SM490YA.

2. METODE

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yang mencakup studi literatur dan studi lapangan, pengumpulan data dan persiapan spesimen, proses pengelasan, tahap Tanpa *repair*, 2 kali *repair*, 3 kali *repair*, pembuatan spesimen uji, pengujian kekerasan, pengujian ketangguhan, analisis data, serta pembahasan dan kesimpulan.

2.1 Material

Dalam penelitian ini, digunakan plat baja SM490A dengan ketebalan 16 mm sebanyak 4 *joint*. Proses pengelasan dilakukan dengan mesin las FCAW dan *filler metal* yang digunakan adalah E71T-1C dengan diameter 1.2 mm. Gas pelindung menggunakan CO₂ dengan kadar sebanyak 99%.

2.2 Proses Las

Proses las menggunakan *Flux Core Arc Welding* (FCAW) dengan sambungan *single bevel butt joint* dalam posisi pengelasan 1G. Proses pengelasan menggunakan *shielding gas* CO₂ dengan tingkat aliran sebesar 10-24 L/min. Parameter pengelasan yang digunakan dapat ditemukan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pengelasan

<i>Layer</i>	<i>Voltage</i> (V)	<i>Current</i> (A)	<i>Travel Speed</i> (mm/min)	<i>Heat Input</i> (kJ/mm)
<i>Root</i>	26-28	189-231	40-65	0,1193
<i>Fill</i>	22-28	149-220	50-105	0,1118
<i>Cap</i>	23-25	151-185	55-110	0,0674

2.3 Proses Repair

Setelah proses pengelasan, selanjutnya adalah proses *repair*. Dalam penelitian ini, dilakukan variasi jumlah *repair*, yaitu tanpa *repair*, 2 kali *repair*, dan 3 kali *repair*. Proses *repair* dilakukan dengan menggunakan gerinda tangan hingga mencapai kedalaman 50% dari ketebalan *base metal* di bagian *weld metal*, kemudian dilakukan pengelasan ulang sesuai parameter pada Tabel 1.

2.4 Proses Heat straightening

Proses *heat straightening* menggunakan las OAW. Pola pemberian panas menggunakan pola garis. Untuk kedua dan ketiga kalinya memberikan panas pada material, temperatur menunggu hingga berada di bawah 120°C [6].

Langkah awal adalah mengukur besarnya deformasi sebelum melakukan proses *heat straightening*. Kemudian, diukur dimensi panjang material yang akan mengalami proses *heat straightening*. Proses *heat straightening* dilakukan dengan menggunakan nyala api netral. Jarak antara ujung *torch* dengan material saat melakukan proses *heat straightening* maksimal 10mm. Saat melakukan proses *heat straightening*, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur maksimal 650°C dihitung. Setelah mencapai temperatur tersebut, waktu pencapaian temperatur maksimal 650°C dicatat. Selanjutnya, proses dilanjutkan dengan gerakan konstan menggunakan pola pemanasan garis untuk menjaga temperatur agar tetap stabil. Pengukuran temperatur dilakukan pada area yang terkena panas selama 2-3 detik setelah proses pemanasan. Waktu yang diperoleh dari proses *heat straightening* dicatat.

Proses *heat straightening* dilakukan pada enam spesimen joint: tiga spesimen *repair 2x* dengan temperatur pemanasan 650°C dan media pendingin air, serta tiga spesimen *repair 3x* dengan temperatur pemanasan 650°C dan media pendingin air. Setelah proses *heat straightening* selesai, dilanjutkan dengan proses *quenching*. Proses *quenching* pada suhu 300 °C dilakukan pada area yang terkena panas setelah proses pemanasan material menggunakan air yang disalurkan melalui selang.

2.5 Pengujian Hardness

Pengujian kekerasan dilakukan untuk memperoleh nilai kekerasan spesimen. Pengujian dilakukan dengan metode *vickers*, yang melibatkan penekanan spesimen menggunakan indenter berbentuk piramida intan yang memiliki alas berbentuk bujur sangkar, dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan sebesar 136°. Proses pengujian ini dilakukan dengan beban 10 Kgf dan waktu penahanan 15 detik. Setelah itu, dilakukan pengukuran diagonal dari indentasi

yang terbentuk, dan hasilnya dilihat pada perangkat uji yang digunakan. Pengujian kekerasan ini dilakukan pada tiga daerah yang berbeda, yaitu *Weld metal* (daerah logam las), *Heat Affected Zone (HAZ)*, dan *Base metal* (logam dasar). Pada setiap daerah ini, dilakukan sembilan kali indentasi pada titik yang berbeda. Lokasi pengambilan sampel uji kekerasan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengambilan titik pengujian *hardness*

Untuk nilai maksimum nilai kekerasan *Vickers* pada material SM490YA mengacu pada ISO/15614-1:2017 [7], untuk material SM490YA termasuk pada *Steel Group 1* sesuai dengan ISO/TR 20174: 2020 [8]. Nilai maksimum kekerasan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Maximum hardness value (HV10)

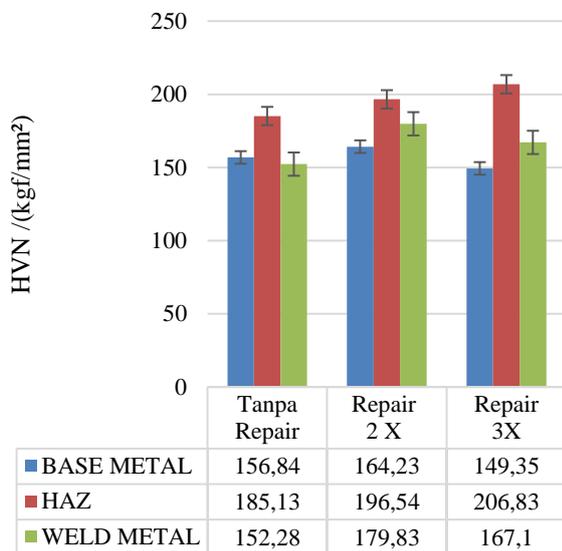
Permitted Maximum Hardness Value (HV 10)		
Steel Groups ISO/TR 15608	Non-Heated Treated	Heat Treated
1 ^a , 2 ^b	380	320
3 ^b	450	380
4, 5	380 ^c	350 ^c
6	-	350
9.1	350	380
9.2	450	350

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Hardness

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *vickers* (kgf/mm²) diambil total 27 titik pada bagian atas, tengah, dan bawah pada tiap variasi yaitu pada bagian *base metal* terdapat 3 titik bagian atas, 3 titik bagian tengah, dan 3 titik bagian bawah. Pada bagian *Heat Affect Zone (HAZ)* terdapat 3 titik bagian atas, 3 titik bagian tengah, dan 3 titik bagian bawah. Pada bagian *weld metal* terdapat 3 titik bagian atas,

3 titik bagian tengah, dan 3 titik bagian bawah. Pengujian dilakukan dengan pembebanan 10 kgf dengan waktu 15 detik. Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Nilai Kekerasan

Pada grafik dapat dilihat jika pada tiap daerah mengalami kenaikan nilai *hardness* pada tiap bertambahnya jumlah *repair* dan *temperatur quenching*. Hal ini dikarenakan *heat input* yang terus bertambah ketika proses *repair* berlangsung berpengaruh pada fasa yang terbentuk. Dimana semakin banyak *heat input* maka material akan mengalami kenaikan nilai kekerasan.

Pada daerah *HAZ*, dimana nilai tertinggi ada pada variasi *3x repair quenching 300°C* dengan nilai *hardness* sebesar 206,83 kgf/mm² dan nilai terendah pada daerah *base metal* variasi *3x repair quenching 300°C* dengan nilai *hardness* sebesar 149,35 kgf/mm². Hal ini menunjukkan *repair* pengelasan berakibat pada meningkatnya nilai kekerasan. Nilai kekerasan tersebut masih memenuhi syarat maksimal keberterimaan nilai *hardness* dari yaitu sebesar 320 kgf/mm² [7], sehingga dapat disimpulkan bahwa sampai pada *repair* pengelasan ke-3 masih memenuhi *standard*.

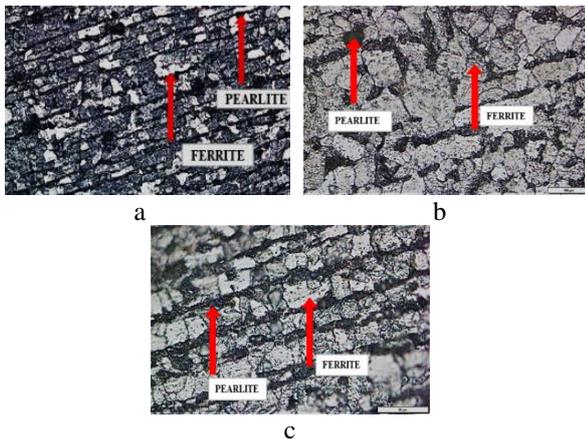
Data hasil pengujian *hardness* yang sudah dilakukan pada masing- masing variasi pada daerah atas, tengah, dan bawah pada daerah *base metal* memiliki nilai kekerasan dengan

range yang hampir sama. Sedangkan dari data hasil pengujian pada daerah atas pada *HAZ* memiliki nilai kekerasan yang semakin naik seiring dengan banyaknya jumlah *repair*. Hal ini disebabkan adanya proses *repair* yang terus dilakukan akan menyebabkan perubahan bentuk butir yang semakin kecil sehingga menyebabkan material tersebut menjadi lebih keras. Hasil pengujian daerah atas pada *weld metal* di semua variasi daerah tersebut adalah daerah yang mengalami proses *repair* sehingga dengan adanya proses *repair* tersebut nilai kekerasan dari meningkatnya jumlah *repair* juga meningkatkan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* tersebut. Namun, nilai kekerasan yang dihasilkan lebih kecil dari nilai kekerasan pada daerah *HAZ*. Hal ini terlihat dari ukuran butir yang dihasilkan pada hasil pengujian mikro di daerah *weld metal* cenderung lebih besar dibandingkan pada daerah *HAZ* yang cenderung lebih kecil.

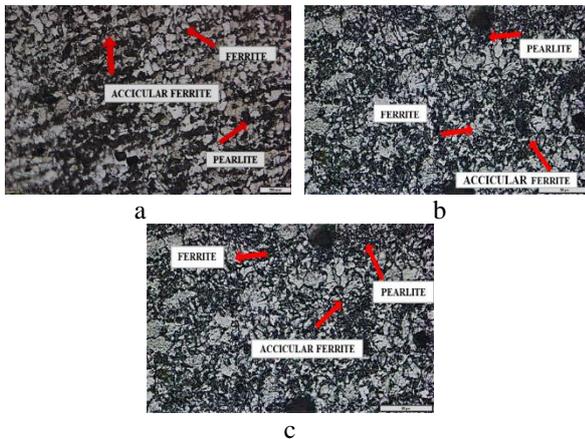
Pada daerah tengah di *HAZ* dan *weld metal* untuk semua variasi spesimen memiliki nilai kekerasan juga cenderung naik dengan meningkatnya jumlah *repair* dan tingginya *temperatur quenching*. Hal ini disebabkan pada daerah tersebut merupakan daerah yang terpapar panas secara terus-menerus akibat adanya proses *repair*, sehingga daerah tersebut mengalami tambahan masukan panas sehingga menyebabkan naiknya nilai kekerasan, meskipun nilai kekerasan pada daerah tengah masih di bawah nilai kekerasan pada daerah atas. Pada daerah bawah *HAZ* dan *weld metal* dimana titik pengujian *hardness* dilakukan pada bagian bawah material yang tentunya juga mengalami tambahan masukan panas lebih kecil saat proses pengelasan, namun mengalami proses pemanasan dengan metode *heat straightening*, kemudian dilakukan metode *quenching*. Oleh karena itu, nilai kekerasan pada daerah bawah mengalami peningkatan dibanding dengan nilai kekerasan pada daerah atas dan daerah tengah.

3.2 Pengujian Struktur Mikro

Pada penelitian ini dilakukan pengujian struktur mikro pada daerah *base metal* untuk mengetahui struktur mikro pada *base metal*. Hasil pengujian mikro pada *Base Metal*, *Heat Afective Zone* (HAZ), dan *Weld metal* dapat dilihat pada Gambar sampai Gambar 3., 4., dan 5. di bawah ini:

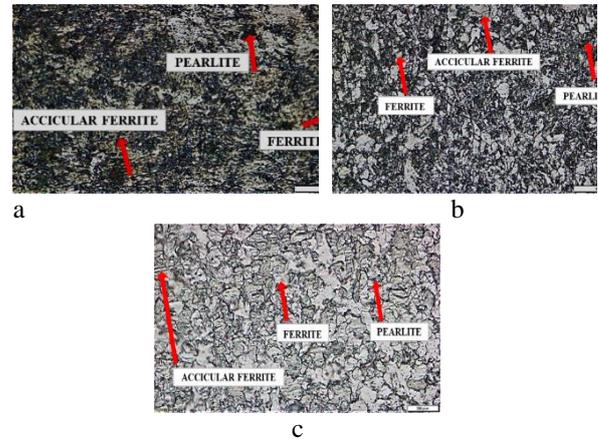


Gambar 3. Struktur mikro pada base metal: (a) tanpa repair; (b) 2x repair; (c) 3x repair



Gambar 4. Struktur mikro pada HAZ: (a) tanpa repair; (b) 2x repair; (c) 3x repair

Dalam Gambar 2, dapat dilihat bahwa *base metal* yang digunakan dalam penelitian ini adalah SM490YA, seperti yang ditunjukkan pada gambar. *Base metal* ini mengalami variasi perlakuan, termasuk tanpa perlakuan, *repair* 2 kali dan *repair* 3 kali dengan proses Quenching pada suhu 300°C.



Gambar 5. Struktur mikro pada *weld metal*: (a) tanpa repair; (b) 2x repair; (c) 3x repair

Secara umum, *base metal* ini termasuk dalam kategori baja karbon HSLA (High-Strength Low-Alloy). Baja karbon HSLA memiliki dua fasa utama, yaitu *ferrite* dan *pearlite*. Karakteristik *ferrite* ditunjukkan dengan warna putih, sementara *pearlite* ditunjukkan dengan warna hitam [9]. Mirip dengan jenis baja karbon lainnya, *base metal* ini didominasi oleh *ferrite*, dengan kandungan *pearlite* yang memiliki bentuk yang pipih memanjang karena proses pengerolan bahan baku [10].

Hasil foto mikro pada Gambar 3. menunjukkan bahwa daerah HAZ (*Heat Afected Zone*) telah mengalami siklus termal dan pendinginan yang lebih cepat, mengakibatkan perubahan struktur mikro [6]. Perubahan struktur mikro terjadi pada daerah HAZ pada setiap spesimen karena variasi dalam *repair* dan *quenching*. Di daerah HAZ, terjadi perubahan ukuran butiran yang menjadi lebih halus daripada di bagian *base metal*, karena daerah HAZ menerima panas input yang lebih tinggi daripada *base metal*. Proses multiple *repair* dapat menyebabkan tambahan siklus termal yang berdampak signifikan pada perubahan mikrostruktur, deformasi, dan sifat mekanis material. Struktur mikro yang muncul di daerah HAZ termasuk *accicular ferrite* (AF), *Ferrite*, dan *Pearlite*. Struktur mikro *accicular ferrite* memiliki ciri khas pipih rapat

seperti jarum dengan orientasi acak yang membentuk struktur interlocking, yang dapat meningkatkan ketangguhan material [11]. Hal ini juga diperkuat oleh hasil pengujian mekanik berupa uji impact pada daerah HAZ dalam penelitian ini, yang menunjukkan peningkatan nilai ketangguhan.

Gambar 4 menunjukkan struktur mikro pada setiap variasi *repair* dan *temperatur quenching* di daerah *weld metal*, yang mengalami pertumbuhan *accicular ferrite*. Seperti yang telah dibahas sebelumnya untuk daerah HAZ, *accicular ferrite* dapat muncul dan cenderung meningkat karena laju pendinginan yang lambat. Dominasi *accicular ferrite* akibat laju pendinginan yang lambat pada dasarnya meningkatkan nilai kekerasan di daerah *weld metal*.

Jumlah panas yang berlebihan menghasilkan perubahan struktur mikro yang berbeda dari pengelasan tanpa *repair*. Struktur mikro pada pengelasan tanpa *repair* memiliki butiran yang lebih besar dibandingkan dengan material yang telah diperbaiki. Di daerah las, ukuran butiran semakin kecil dengan peningkatan jumlah *repair*, yang juga memengaruhi persentase fasa, dengan *ferrite* yang berkurang dan *pearlite* yang meningkat seiring dengan peningkatan jumlah *repair*. Perubahan struktur mikro ini juga berdampak pada sifat mekanis material. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan peningkatan presentase *pearlite* seiring dengan peningkatan jumlah *repair* pengelasan. Dari pengamatan tersebut, juga terlihat bahwa terjadi perubahan struktur mikro akibat proses pemanasan dan pendinginan dengan air maupun udara. Perubahan ini akan semakin signifikan seiring dengan peningkatan proses pemanasan yang dilakukan.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian kekerasan menggunakan *hardness vickers* menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat di daerah HAZ pada spesimen *repair* 3x dengan *quenching* 650°C, mencapai 223,21 kgf/mm². Sementara

itu, nilai kekerasan terendah terdapat di daerah *Base metal* pada spesimen *repair* 3x dengan *quenching* 300°C, yaitu sekitar 149,35 kgf/mm². Semua hasil nilai kekerasan yang telah diperoleh masih berada di bawah batas maksimal nilai kekerasan yang diperbolehkan, yaitu 320 kgf/mm². Oleh karena itu, proses multiple *repair* hingga dua kali masih sesuai dengan standar yang diperbolehkan.

Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa multiple *repair* dan *temperatur quenching* dalam proses *heat straightening* memengaruhi struktur mikro, yang menghasilkan dominasi struktur *ferrite acicular* di wilayah HAZ dan *weld metal*. Di wilayah HAZ dan *weld metal*, terjadi peningkatan kekerasan dan ketangguhan pada logam las. Hal ini tercermin dalam hasil uji *hardness vickers test*, yang menunjukkan peningkatan kekerasan dalam setiap perlakuan *repair* serta penurunan temperatur *quenching*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepada PPNS dan PT. Korindo Heavy Industry yang telah berkontribusi dan membantu dalam menyelesaikan pengerjaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mulyaningsih, D.R. (2009), "Analisa Resiko Cacat Las Pada Pengelasan Tubular Joint Jacket dengan Menggunakan Metode Diagram Ishikawa", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Tugas Akhir, Surabaya.
- [2] Sohn, Y. M., Varma, A. H., & Connor, R. J. (2018). Effects of Imperfections in Heat Straightening Repair of Steel Beam Bridges
- [3] Nash, William. (1998). "Schaum's Outline of Strength of Materials, Fourth Edition". Singapore. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [4] Rajan, TJ, Sharma, (1997). "Heat Treatment Principles and Techniques".

Prentice Hall of India Private Limited. New Delhi.

- [5] American Welding Society. (2020). AWS D1. 1/D1. 1M:2020, Structural Welding Code - Steel An American National Standard. In American Welding Society
- [6] American Welding Society. (2010). AWS D1. 7/D1. 7M:2010, Guide For Strengthening-Steel An American National Standard. In American Welding Society
- [7] International Standard ISO. (2018). ISO 15614-1 Metallic materials - Vickers hardness test - Part 1: Test method. International Standard, 1–49
- [8] International Standard ISO. (2020). ISO/TR20174 Welding – Grouping systems for materials – Japanese materials
- [9] Baldwin, W. (2004). Metallography and Microstructures. Metallography and Microstructures
- [10] Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (2000). Teknologi Pengelasan Logam. In PT PRADNYA PARAMITA (Vol. 8).
- [11] Suharno. (2009). Struktur Mikro Las Baja C-Mn Hasil Pengelasan Busur Terendam dengan Variasi Masukan Panas. Jurnal Teknik Mesin, 10(1), 40-45–45