

## 99 Studi Kasus Pengaruh Variasi *Multiple Repair* Pengelasan GTAW Pipa Baja Karbon Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Hardness Vickers

Roikhan Maulana Hidayat<sup>1\*</sup>, Budi Prasajo, S.T., M.T.<sup>2</sup>, Ir. Endah Wismawati, M.T.<sup>3</sup>

D4-Teknik Perpipaan, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>1\*2,3</sup>

Email: [roikhanmaulana@student.ppns.ac.id](mailto:roikhanmaulana@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [budiprasajo@ppns.ac.id](mailto:budiprasajo@ppns.ac.id)<sup>2</sup>; [endahw@ppns.ac.id](mailto:endahw@ppns.ac.id)<sup>3</sup>;

**Abstract** - In the construction industry, contractor companies have a role in completing infrastructure projects, one of which is a piping system installation project. In working on a piping system installation project, the possibility of errors in the welding process cannot be avoided. The above can occur due to technical or non-technical errors resulting in defects. To overcome this, repair treatment is needed, if errors in the welding process are made repeatedly, it is necessary to do multiple repairs to the weld joint. The result of multiple repairs carried out will affect the hardness of the material itself. The purpose of this final project is to analyze the effect of multiple repairs on the microstructure and hardness of the material. The material used is A53 Grade B using the GTAW welding method with ER 70-S electrodes. The micro test results produce grain sizes that get smaller as the number of repairs increases. The amount of repair will increase the percentage of pearlite phase in the HAZ area. The hardness test results produced the highest hardness value in the Weld Metal area with 3x repair 187.50 HV, 2x repair 173.60 HV, 1x repair 164.12 HV, without repair 157.96 HV. This indicates that the more pipe joints undergo a repair process, the mechanical properties are more brittle than pipe joints without a repair process.

**Keyword:** multiple repair welding, microstructure, hardness

### Nomenclature

**GTAW** Gas Tungsten Arc Welding

**HAZ** Heat Affected Zone

### 1. PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan industri secara global seperti minyak dan gas, petrokimia, pembangkit listrik, dan industri kimia banyak melibatkan sistem perpipaan yang kompleks. Pada proses instalasi perpipaan yang baik akan berpengaruh pada hasil produksi yang baik pula, ketika terjadi kesalahan pada pada proses instalasi maka dapat mengakibatkan kerugian pada perusahaan. Maka dari itu proses instalasi pada sistem perpipaan benar-benar diperhatikan untuk mencegah hal yang tidak diinginkan dapat terjadi, apalagi dalam industri minyak dan gas harus benar-benar diperhatikan. Proses instalasi sistem perpipaan yang baik dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah proses pengelasan.

Pengelasan merupakan proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Untuk menjamin kualitas suatu sambungan logam hasil pengelasan perlu dilakukan inspeksi. Inspeksi tersebut terkadang menghasilkan sebuah temuan berupa cacat atau kerusakan pada sambungan las. Temuan cacat pada sambungan pengelasan harus diperbaiki untuk memastikan kualitas

sambungan. Salah satu metode untuk memperbaiki cacat pada sambungan tersebut adalah dengan melakukan perbaikan las.

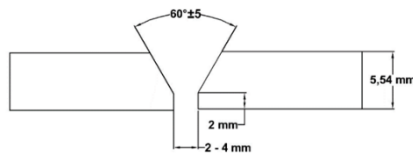
Perbaikan las (*welding repair*) pada sambungan pipa merupakan salah satu aspek kritis dalam menjamin kualitas pengelasan. Ketika sambungan las tidak memenuhi standar kualitas atau mengalami cacat, tindakan perbaikan las (*welding repair*) menjadi suatu keharusan untuk memastikan kualitas dari pengelasan agar sistem perpipaan memiliki lifetime yang terjamin. Memperbaiki bagian las seringkali melibatkan siklus termal tambahan yang dapat mempengaruhi sifat mekanis dari material yang terkena. Proses pengelasan ulang atau pemanasan area yang telah dilas sebelumnya dapat menyebabkan perubahan dalam struktur mikro dan kekerasan

### 2. METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan. Tahapan ini meliputi studi literatur dan studi lapangan, pengumpulan data dan persiapan spesimen, proses pengelasan, proses perbaikan las (*repair*) 1 sampai dengan 3 kali, pembuatan spesimen uji, pengujian mikro, pengujian kekerasan, analisis data, serta pembahasan dan kesimpulan. Maka dari itu pada penelitian ini diperlukan identifikasi dan persiapan agar penelitian ini berjalan sesuai yang diharapkan oleh penulis.

### 2.1 Persiapan Spesimen

Pada penelitian ini menggunakan material pipa baja karbon A53 Gr B Sch 80 dengan panjang *test coupon* 150 mm. Menggunakan jenis pengelasan GTAW dengan *filler metal* ER 70 S-6 dengan diameter 2,4 mm. Sudut kampuh “V” dengan sudut 60° yang disesuaikan dengan WPS. Alat yang digunakan meliputi mesin potong, mesin sekrup, dan mesin gerinda. Bentuk



bevel dapat dilihat pada gambar 1. Dibawah ini.

Gambar 1. Skema proses *fit-up*

### 2.2 Proses Pengelasan dan *Repair*

Proses pengelasan dimulai dengan proses *fit-up* dengan sudut kampuh 60° berbentuk “V” sesuai dengan WPS. Pengelasan dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu *root pass*, *filler pass*, dan *capping* menggunakan metode pengelasan GTAW dengan filler metal ER 70 S-6 2,4 mm. Setelah dilakukan proses pengelasan, dilakukan *repair* menggunakan gerinda tangan dengan kedalaman 50% dari tebal material. Setelah proses *repair* menggunakan gerinda selesai, dilakukan proses pengelasan kembali pada *weld metal* hingga selesai. proses *repair* ini dilakukan sebanyak 3 kali sesuai dengan variasi pada penelitian ini.

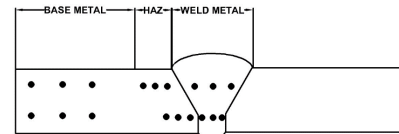
### 2.3 Tahap Pengujian Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengamati perubahan struktur mikro pada material setelah proses pengelasan dan *repair* welding. Spesimen dipersiapkan dengan proses grinding dan polishing menggunakan kertas gosok dan polisher. Proses etsa dilakukan dengan menggunakan larutan nital (campuran asam nitrat dan alkohol) dengan perbandingan 2% dan 98% untuk mengungkap struktur mikro spesimen. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 100x hingga 500x untuk mengidentifikasi fasa-fasa dan perubahan ukuran butir pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*.

### 2.4 Tahap Pengujian Kekerasan

Pengujian Kekerasan dilakukan menggunakan metode *Vickers* dengan alat, bahan, dan persyaratan yang tertuang pada ASTM E92. Spesimen diuji dengan menekan indenter pada permukaan material selama 10-30 detik dan nilai kekerasan dihitung berdasarkan diagonal indentasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kekerasan pada daerah yang sangat

kecil, seperti struktur mikro atau lapisan tipis pada material. Pengujian dilakukan pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* di setiap spesimen untuk mendapatkan profil kekerasan yang lengkap. Berdasarkan pengujian kekerasan didapatkan nilai kekerasan pada material yang telah dilakukan proses pengelasan. Menggunakan indenter intan berbentuk piramida ber alas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi



yang berhadapan 136°. Untuk skema titik pengujian kekerasan dapat dilihat gambar 2. dibawah ini.

Gambar 2. Titik pengujian kekerasan

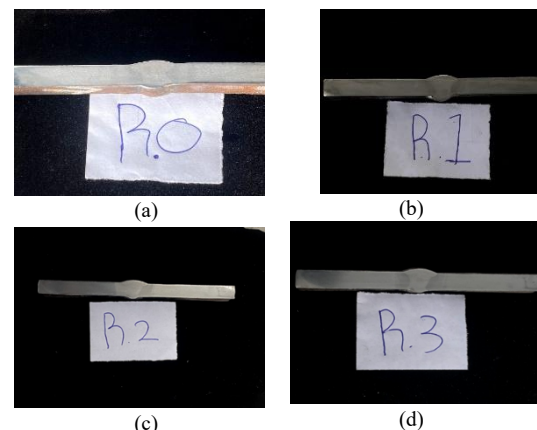
### 2.5 Analisa Data

Pada tahap ini kegiatan yang dilakukan berupa analisa data yang telah diperoleh pada pengujian yang sudah dilakukan. Data yang dianalisis tersebut digunakan untuk membandingkan berbagai variasi guna menentukan metode perbaikan las yang paling untuk digunakan pada proses perbaikan las. Setelah analisa data dilakukan, langkah berikutnya adalah pengambilan kesimpulan dari hasil data dan analisa data yang telah dilakukan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Data Hasil Mikro

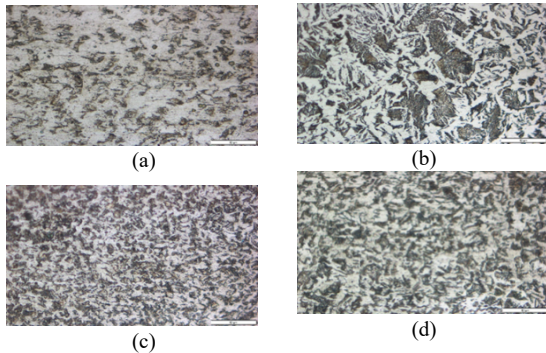
Pengambilan gambar dilakukan pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal* pada setiap variasi *multiple repair* yaitu tanpa *repair*, 1 kali *repair*, 2 kali *repair*, dan 3 kali *repair*. Sebelum dilakukan pengambilan foto struktur mikro, maka spesimen mengalami proses etsa.



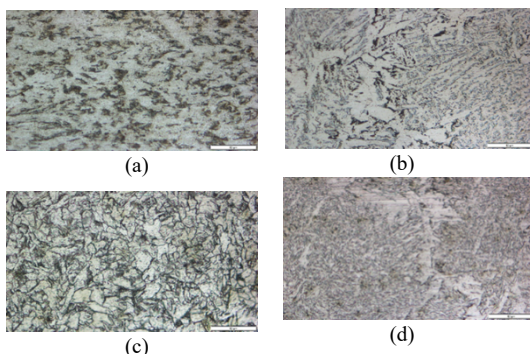
Gambar 3. Hasil Proses Etsa : (a) Tanpa *Repair*, (b) 1 Kali *Repair*, (c) 2 Kali *Repair*, (d) 3 Kali *Repair*

Berdasarkan hasil proses etsa terlihat bahwa pada variasi tanpa *repair*, 1 kali *repair*, 2 kali *repair*, dan 3 kali *repair*, hasil dari pengelasan menunjukkan kualitas yang baik. Ini dapat dilihat dari penetrasi dan fusi yang optimal pada

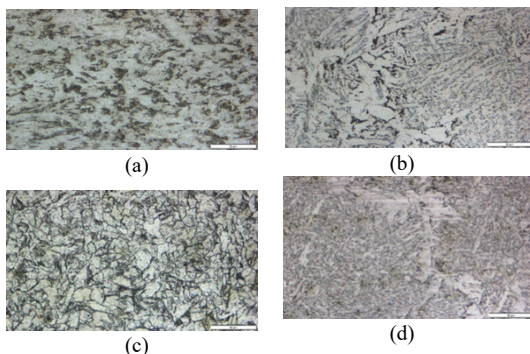
sambungan las. Selain itu, tidak ditemukan adanya keretakan maupun kecacatan antara *weld metal* dan *base metal*.



Gambar 4. Hasil Pengujian Mikro Daerah Base Metal Dengan Perbesaran 500x : (a) Tanpa Repair; (b) 1 Kali Repair; (c) 2 Kali Repair; (d) 3 Kali Repair



Gambar 5. Hasil Pengujian Mikro Daerah HAZ Dengan Perbesaran 500x : (a) Tanpa Repair; (b) 1 Kali Repair; (c) 2 Kali Repair; (d) 3 Kali Repair



Gambar 6. Hasil Pengujian Mikro Daerah Weld Metal Dengan Perbesaran 500x : (a) Tanpa Repair; (b) 1 Kali Repair; (c) 2 Kali Repair; (d) 3 Kali Repair

Berdasarkan hasil struktur mikro yang ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 di atas, terlihat perbedaan hasil struktur mikro pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal* perbedaan ini disebabkan oleh paparan panas yang diterima di daerah HAZ akibat proses pengelasan, serta pengaruh dari proses pengelasan berulang yang dapat mengubah dimensi struktur mikro. Pada Gambar 5 dan Gambar 6 persentase *pearlite* (hitam) semakin banyak seiring dengan bertambahnya jumlah *repair*; daerah HAZ mengalami

perubahan struktur mikro yang mencerminkan efek dari jumlah *repair*. Semakin banyak dilakukan *repair* semakin besar penambahan jumlah *pearlite* pada daerah HAZ.

### 3.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin Hardness Vickers dimana beban atau force yang diberikan sebesar 10 kgf dengan dwell time selama 10 detik untuk mengetahui nilai kekerasan pada material yang diuji. Data yang didapat dari proses penelitian berupa angka yang menunjukkan hasil dari penelitian tersebut.

- Spesimen tanpa *repair*

Berikut ini merupakan hasil pengujian kekerasan spesimen tanpa *repair*.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Tanpa Repair

Lokasi	Atas	Bawah
WM	156,99	155,27
WM	155,32	154,42
WM	157,96	155,14
HAZ	142,82	140,62
HAZ	144,74	141,52
HAZ	141,95	140,16
BM	138,63	137,39
BM	137,84	132,05
BM	134,12	135,61

Dari data hasil pengujian kekerasan spesimen tanpa *repair* yang terdapat pada tabel 1. didapatkan adanya perbedaan nilai kekerasan pada area *base metal*, HAZ, dan *weld metal* terendah pada daerah *base metal* dengan nilai 132,05 HV, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* dengan nilai 157,96 HV.

- Spesimen 1 kali *repair*

Berikut ini merupakan hasil pengujian kekerasan spesimen 1 kali *repair*.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen 1 Kali Repair

Lokasi	Atas	Bawah
WM	163,88	160,64
WM	164,12	163,54
WM	160,43	161,28
HAZ	145,67	143,73
HAZ	141,17	142,19
HAZ	145,59	144,46
BM	134,55	132,12
BM	134,77	132,48
BM	129,35	139,24

Dari data hasil pengujian kekerasan spesimen 1 kali *repair* yang terdapat pada table 4.3 didapat perbedaan nilai kekerasan pada area *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Dimana nilai kekerasan terendah pada daerah *base metal* dengan nilai 129,35 HV, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* dengan nilai 164,12 HV.

- Spesimen 2 kali *repair*

Berikut ini merupakan hasil pengujian kekerasan spesimen 2 kali *repair*:

Tabel 3 Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen 2 Kali Repair

Lokasi	Atas	Bawah
WM	173,92	169,32
WM	172,96	167,50
WM	173,60	170,77



HAZ	149,55	147,99
HAZ	148,11	148,83
HAZ	145,71	147,95
BM	132,19	130,69
BM	128,06	135,68
BM	134,88	132,72

Dari data hasil pengujian kekerasan spesimen 2 kali *repair* yang terdapat pada table 4.4 didapat perbedaan nilai kekerasan pada area *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Dimana nilai kekerasan terendah pada daerah *base metal* dengan nilai 128,06 HV, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* dengan nilai 173,92 HV.

- Spesimen 3 kali *repair*

Berikut Berikut ini merupakan hasil pengujian kekerasan spesimen 3 kali *repair*

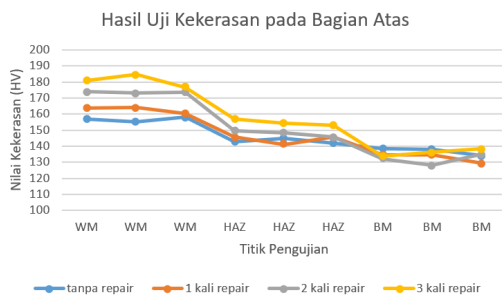
Table 4. Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen 3 Kali *Repair*

Lokasi	Atas	Bawah
WM	180,83	186,67
WM	184,61	187,50
WM	176,79	177,93
HAZ	157,04	154,91
HAZ	154,29	155,86
HAZ	153,22	152,35
BM	133,73	132,83
BM	136,16	133,83
BM	138,33	139,20

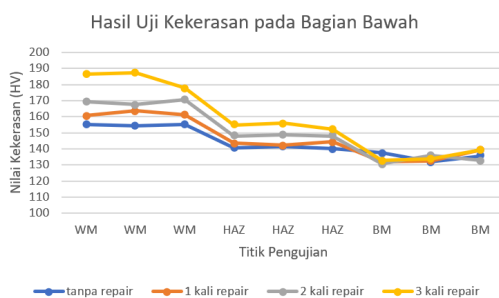
Dari data hasil pengujian kekerasan spesimen 3 kali *repair* yang terdapat pada table 4.10 didapatkan adanya perbedaan nilai kekerasan pada area *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Dimana nilai kekerasan terendah pada daerah *base metal* dengan nilai 132,83 HV, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* dengan nilai 187,50 HV.

### 3.3 Pengaruh *Multiple Repair* Terhadap Kekerasan Material

Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan. Ditampilkan pada grafik pada gambar dibawah ini.



Gambar SEQ Gambar \\* ARABIC 7. Hasil Uji Kekerasan pada Bagian Atas



Nilai kekerasan pada lokasi base metal cenderung sama, hal ini dikarenakan pada lokasi base metal tidak terpengaruh oleh panas yang dihasilkan dari proses pengelasan berulang.

Data hasil pengujian hardness yang sudah dilakukan pada masing- masing variasi *repair* pada titik pengujian bagian dan bawah pada daerah *base metal* memiliki nilai kekerasan 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 daerah yang terpengaruh panas akan semakin keras

Pengujian kekerasan dilakukan pada arah memanjang yaitu sejajar dengan permukaan spesimen. Meskipun beberapa ketidakstabilan pada nilai yang diukur, hasil yang jelas dari peningkatan kekerasan yang terus menerus dalam urutan weld metal, HAZ dan base metal dapat

Gambar SEQ Gambar \\* ARABIC 8. Hasil Uji Kekerasan pada Bagian Bawah

diamati di semua spesimen tanpa *repair*, 1 kali *repair*, 2 kali *repair*, dan 3 kali *repair*. Nilai kekerasan maksimum didapat pada lokasi weld metal dan HAZ pada spesimen 3 kali *repair* dan kemudian menurun di spesimen 2 kali *repair*, spesimen 1 kali *repair*, dan spesimen tanpa *repair* pada masing-masing lokasi.

### 3.4 Pengaruh *Multiple Repair* Terhadap Struktur Mikro Material

Pada hasil pengujian struktur mikro yang telah dilakukan, hasil analisa perubahan struktur mikro pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal* akibat proses pengelasan tanpa *repair*, 1 kali *repair*, 2 kali *repair*, dan 3 kali *repair*. Hasil pengamatan pada berbagai perbesaran menunjukkan perubahan yang signifikan pada setiap variasi *multiple repair*.

Perubahan struktur mikro yang diamati dalam penelitian ini menunjukkan bahwa variasi jumlah *repair* pengelasan memiliki dampak signifikan terhadap struktur mikro *weld metal* dan daerah HAZ. Dengan meningkatnya jumlah *repair*, ukuran butir cenderung meningkat yang dapat mempengaruhi sifat mekanik material seperti kekerasan dan kekuatan. Penelitian ini mendukung temuan bahwa peningkatan jumlah *repair* mempengaruhi struktur mikro pada material.

### 4. KESIMPULAN

Pada struktur mikro daerah *base metal* di semua variasi *repair* fasa *ferrite* dan *pearlite* cenderung sama atau tetap, sedangkan daerah HAZ dan *weld metal* terdapat perbedaan persentase fasa *ferrite* dan *pearlite* di masing-masing variasi *repair*. Pada pembesaran

500x daerah HAZ dan *weld metal* nampak bahwa penambahan jumlah *repair* meningkatkan fasa *pearlite*. Semakin banyak dilakukan proses *repair*, maka fasa *pearlite* yang terbentuk akan lebih banyak.

Semakin banyak dilakukan proses *repair* nilai kekerasan pada daerah HAZ dan *weld metal* semakin meningkat, pada daerah *base metal* nilai kekerasan cenderung sama meskipun mengalami perlakuan *repair*. Nilai kekerasan tertinggi daerah *weld metal* didapat pada spesimen 3 kali *repair* sebesar HV, sedangkan nilai kekerasan terendah daerah *weld metal* didapat pada spesimen tanpa *repair* sebesar HV. Nilai kekerasan tertinggi daerah HAZ didapat pada spesimen 3 kali *repair* sebesar HV, sedangkan nilai kekerasan terendah daerah HAZ didapat pada spesimen tanpa *repair* sebesar HV. Hal tersebut membuktikan bahwa, penambahan jumlah *repair* meningkatkan kekerasan pada HAZ dan *weld metal*.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Ucapan terima kasih disampaikan kepada bapak budi prasojo, S.T., M.T atas bimbingan dan arahan yang berharga dalam penyusunan penelitian ini. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga dan teman-teman atas doa dan dukungannya selama proses penyusunan jurnal ini.

## 6. PUSTAKA

- [1] Wiryosumarto, H. dan Toshie, O. (2008). Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [2] ASME B31.3. (2020). Process Piping. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- [3] ASTM E92. (2003). Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials.
- [4] ASTM E3. (2011). Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. New York: ASTM Publishing.
- [5] Amanto, H., & Daryanto. (1999). Ilmu Bahan. Jakarta: PT Bumi Aksara
- [6] Callister, W.D., & Rethwisch, D.G. (2018) *Materials Science and Engineering - An Introduction 10th Edition*.
- [7] Uchidarokakuho, H. S. (1983). Material Testing (Zairyoku Shiken). Japan: MA-MR.