

ANALISIS *MULTIPLE REPAIR* PADA MATERIAL PIPA STAINLESS STEEL 06Cr19Ni10 DENGAN PROSES LAS GTAW TERHADAP KUAT TARIK, KEKERASAN, DAN STRUKTUR MIKRO

Moch Fikri Assidiq¹, Muhamad Ari², Imam Khoirul Rohmat³

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111¹

Email: fikriassidiq@gmail.com¹

Abstract – In the process of welding stainless steel pipes do not escape with a defect results so that the repair process must be done immediately to eliminate a discontinuity or defect in the weld metal. The repair process once there may still be more defects while multiple repairs will cause additional thermal cycles, which greatly affect significant microstructure changes, deformation and mechanical properties of the material. This research aimed to determine the analysis of multiple repair on stainless steel pipe material. Using a 2" pipe test coupon with a single V connection design and the repair process is carried out half of the thickness of the material. The results of the tensile strength value test shown a downward trend due to the increasing number of repairs. Hardness test results produce the highest average value in the fusion line area, especially the part affected by the repair process namely the top specimen area due to the smaller grain size and the ferrite phase formed is increasing. The results of micro testing showed that the visible morphology was white austenite granules and black ferrite granules. However, with the increase in the number of ferrite phase repairs, the percentage increases. From the results all tests met the acceptability permitted by the procedures and standards used.

Keywords: stainless steel, multiple repair, tensile, hardness, microstructure

1. PENDAHULUAN

Pada proses pengerjaan pengelasan pipa *stainless steel* tersebut tidak luput dengan hasil yang buruk sehingga proses *repair* atau perbaikan harus segera dilakukan untuk menghilangkan suatu diskontinuitas atau *defect* pada *weld metal*. Perbaikan pengelasan di area yang sama akan berpengaruh terhadap ukuran butir, bahwa perbaikan pengelasan dapat meningkatkan pertumbuhan butir pada daerah HAZ terutama pada spesimen dengan ketebalan *medium* dan pertumbuhan butir ini dapat menurunkan ketangguhan karena peningkatan jumlah perbaikan pengelasan [1].

Proses *multiple repair* akan menyebabkan siklus termal tambahan, yang sangat berpengaruh pada perubahan mikrostruktur yang signifikan, terjadinya deformasi dan sifat mekanis dari material. Baja *stainless steel* dikenal dengan sifat metalurgi yang sensitif terhadap masukan panas. Oleh karena itu, masukan panas yang berlebih akan berakibat pada hasil sifat mekanis material yang akan menjadi keras. Sehingga proses *multiple repair* akan sangat berpengaruh besar pada hasil struktur mikro dari material dan perubahan sifat mekanisnya [9].

Pada proses pengerjaan fabrikasi pipa yang telah disebutkan dalam prosedur WPS di *Project Kayan LNG* hanya diperbolehkan maksimal 2 kali *repair*. Sehingga apabila setelah dilakukan 2 kali *repair* masih terdapat cacat pada bagian dalam material akan

dilakukan pemotongan area pengelasan dan akan dilakukan *additional joint*. Namun, pada kenyataannya di lapangan terdapat beberapa masalah yang ada, sehingga setelah dilakukan 2 kali *repair* tetapi masih terdapat cacat akan tetap dilakukan proses *repair* ulang. Oleh karena itu, adanya proses *repair* yang berlebih pada material tentu akan berpengaruh terhadap perubahan sifat mekanik maupun struktur yang ada di dalam logam material tersebut, sehingga akan mempengaruhi dari rusaknya material maupun dari segi biaya akibat proses *repair* yang berlebih.

Merujuk pada penelitian [1] dengan material *stainless steel* 316L menyatakan bahwa dalam peningkatan jumlah *repair* akan mempengaruhi perubahan pada kekuatan tarik. Pada penelitian tersebut kekuatan tarik maksimum pada 1 kali *repair*. Meningkatnya jumlah *repair* berakibat perubahan butir pada material. Sehingga proses *repair* akan menurunkan kekuatan tarik material.

Penelitian [9] dengan material *austenitic stainless steel plates* 304L dan 306L menyatakan bahwa adanya proses peningkatan jumlah *repair* akan mempengaruhi struktur mikro pada daerah HAZ. Dengan peningkatan jumlah *repair* pertumbuhan butir akan semakin kecil dan semakin rapat dengan meningkatnya jumlah *repair*. Selain itu nilai kekerasan pada daerah HAZ akan cenderung berkurang seiring bertambahnya jumlah *repair*.

Oleh karena itu, peneliti akan melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh *multiple repair* pada material pipa *stainless steel* 06Cr19Ni10 terhadap nilai kuat tarik, kekerasan, dan struktur mikro. Dari data penelitian diatas bagi perusahaan, juga bisa menjadi masukan referensi untuk *multiple repair* yang ideal pada proses pengelasan pipa *stainless steel* untuk proyek kedepannya.

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan. Tahapan ini meliputi studi literatur dan studi lapangan, pengumpulan data dan persiapan spesimen, proses pengelasan, proses *No Repair*, *Repair 2* kali, *Repair 3* kali, *Repair 4* kali, pembuatan spesimen uji, uji kuat tarik, uji kekerasan dan struktur mikro, analisis data, serta pembahasan dan kesimpulan.

2.1 Persiapan material

Pada penitilan ini menggunakan pipa *stainless steel* 06Cr19Ni10 diameter 2" SCH 10S dengan bentuk kampuh single V. Proses pengelasan yang digunakan adalah *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dengan logam pengisi ER 308L. Komposisi kimia material *stainless steel* 06Cr19Ni10 dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan komposisi kimia ER 308L dapat dilihat pada Tabel 2.

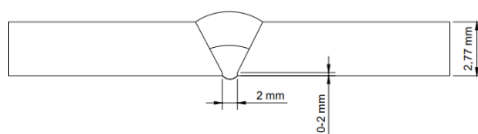
Tabel 1. Komposisi kimia material *stainless steel* 06Cr19Ni10

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
0.039	1.08	0.030	0.002	0.44	18.19	8.03

Tabel 2. Komposisi kimia ER 308L

C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si
0.03	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65

Pada penelitian kali ini menggunakan material pipa diameter 2" dengan detail sambungan yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Detail sambungan

2.2 Proses pengelasan

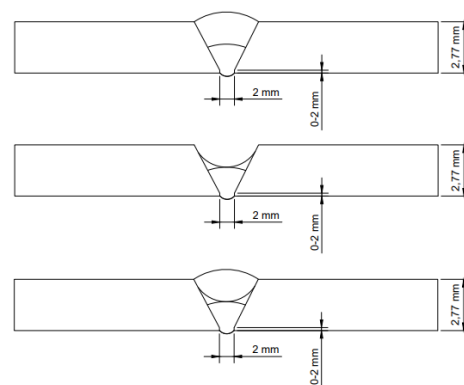
Dalam penelitian ini dilakukan dengan proses *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dengan sambungan *butt joint* posisi pengelasan 1G. Proses pengelasan menggunakan *shielding gas* Argon dengan *flowrate* 8-20 L/min. Parameter pengelasan yang digungakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter pengelasan

Layer	Volta ge (V)	Curre nt (A)	Tim e (min)	Leng h (mm)	Travel speed (mm/min)	Heat input (J/mm)
Root	12	80	2.22	138	135	426
Cappi ng	12	95	2.25	138	133	513

2.3 Proses Repair

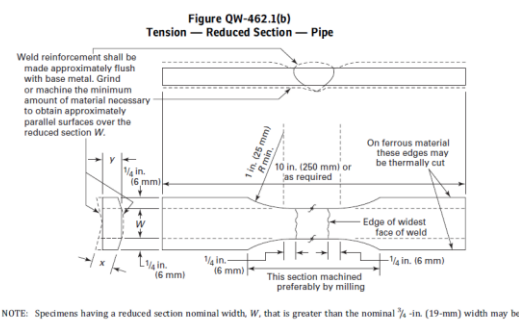
Setelah pengelasan selesai, langkah selanjutnya adalah proses *repair*. Dalam penelitian ini dilakukan variasi jumlah *repair* yaitu 2 kali *repair*, 3 kali *repair*, dan 4 kali *repair*. Proses *repair* menggunakan gerinda tangan sampai dengan kedalaman *repair* 50% dari ketebalan *base metal* tersebut sampai selesai, dan dilakukan proses pengelasan kembali yang dapat dilihat pada Gambar 2.



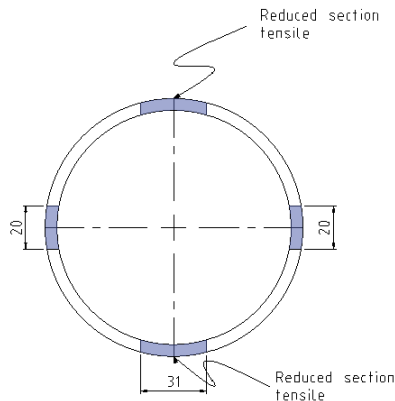
Gambar 2. Proses pengerjaan pengelasan *repair*

2.3 Pengujian Tensile

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. Merujuk pada [4] direncanakan untuk pengambilan spesimen pengujian tarik pada pipa untuk Gambar 3. dan Gambar 4. dibawah ini.



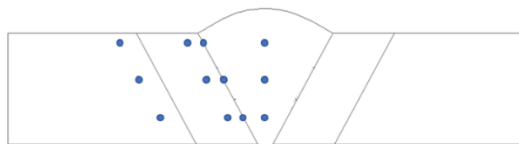
Gambar 3. Spesimen uji tarik



Gambar 4. Reduced section tensile

2.3 Pengujian Hardness

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *Vickers* yang dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter *pyramid* intan yang beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan. Pengujian ini dilakukan dengan beban 1 kgf dan waktu tunggu 15 detik. Setelah itu ukur diagonal indentasi yang terbentuk, lalu lihat hasil pada mesin uji. Pengujian ini dilakukan di daerah *Weld Metal*, *Fusion Line Heat Afective 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 7.



Gambar 5. Titik pengujian hardness

2.3 Pengujian Struktur Mikro

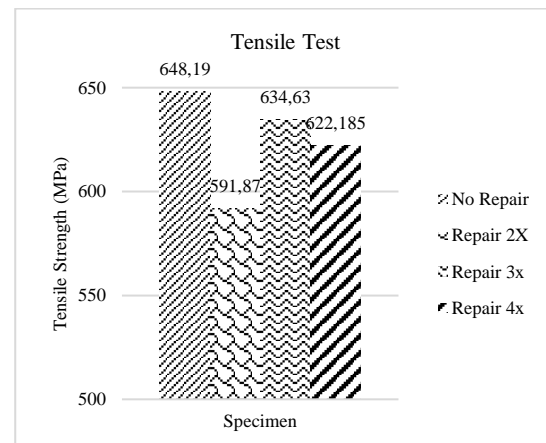
Pengujian struktur mikro, yang pertama mempersiapkan spesimen terlebih dahulu dipoles menggunakan mesin dan kertas gosok hingga *grade 2000* sampai terlihat sangat bersih dan tidak ada noda pada permukaannya. Setelah melakukan *polishing*, dilakukan etsa dengan menggunakan cairan larutan HNO_3 sebanyak 4 ml dengan HCl sebanyak 8 ml dan diuji mikro menggunakan mikroskop optik (OLYMPUS) dengan perbesaran 500x pada daerah *Heat Affected Zone (HAZ)*, *Fusion Line*, dan *Weld Metal*. Kemudian dilakukan foto mikro.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Tensile

Dari hasil pengujian tarik yang sudah dilakukan, dapat dilihat bahwa variasi proses tanpa *multiple repair* mempunyai nilai kekuatan tarik yang paling tinggi dengan rata rata, yaitu 648,19 MPa dan variasi 2x *repair* mempunyai nilai kekuatan tarik paling rendah dengan rata rata, yaitu 591,87 MPa. Diketahui

juga bahwa nilai kekuatan tarik pada variasi 3x *repair* dan 4x *repair* mempunyai nilai kekuatan tarik lebih rendah dibandingkan dengan variasi tanpa *repair*. Nilai kekuatan tarik rata rata nya adalah 634,63 MPa dan 622,185 MPa secara berurutan. Nilai hasil rata rata pengujian *tensile* disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 6. berikut ini.



Gambar 6. Hasil pengujian tarik

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 [10]. Dalam hal ini unsur *nickel* memegang peran penting dikarenakan unsur *nickel* dapat meningkatkan *ductility*. Proses *machining* saat pembuatan bagian spesimen uji tarik juga mempengaruhi, dikarenakan apabila proses *machining* yang salah dapat mengakibatkan terbentuknya cacat buatan sehingga menyebabkan kegagalan dalam uji tarik.

Selain cacat las, hal lainnya yang berpengaruh dalam kekuatan tarik adalah tegangan sisa, hal ini karena saat proses pengelasan bagian yang dilas menerima masukan panas sehingga menyebabkan peregangan dan bagian yang tidak menerima panas tidak akan berubah sehingga terjadinya pengembangan. Dalam proses ini dapat menyebabkan perubahan bentuk [10]. Secara umum proses *multiple repair* akan sangat berpengaruh terhadap material. Dalam proses *multiple repair* akan banyak masukan panas (*heat input*) yang masuk ke dalam material yang akan memperlambat laju pendinginan. Masukan panas yang berlebih juga akan menyebabkan adanya *residual stress* atau tegangan sisa pada material.

Hasil nilai kekuatan tarik menunjukkan bahwa proses *multiple repair* tidak memiliki banyak efek buruk pada *yield* dan *ultimate tensile strength*. *Yield strength* dan *Ultimate tensile* pada awalnya meningkat dan kemudian menurun dikarenakan ukuran butir dan efek penyempurnaan butir. Ukuran butir berkurang selama *repair* pertama kemudian meningkat dengan meningkatnya jumlah *repair* [1].

Pada penelitian ini terdapat nilai kekuatan tarik yang menunjukkan tren menurun. Hal ini disebabkan

karena meningkatnya jumlah *repair*. Ukuran butir menurun selama dari *repair* kedua kemudian meningkat dengan meningkatnya jumlah *repair*. Sehingga proses *repair* akan menurunkan kekuatan tarik material.

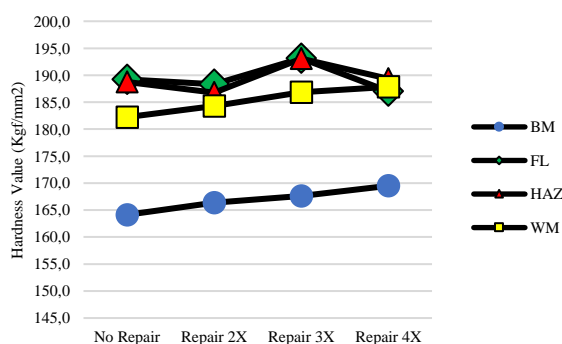
3.2 Uji Kekerasan

Dari data hasil pengujian *hardness* yang sudah dilakukan pada masing-masing variasi pada daerah *top*, *middle*, dan *bottom* pada daerah *base metal* memiliki nilai kekerasan dengan *range* yang sama. Sedangkan dari data hasil pengujian pada daerah pada *fusion line* dan 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.

Pada hasil pengujian di daerah *top* pada *weld metal* di semua variasi daerah tersebut adalah daerah yang mengalami 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 *fusion line* maupun HAZ. Hal ini terlihat dari ukuran butir yang dihasilkan pada hasil pengujian mikro di daerah *weld metal* cenderung lebih besar dibandingkan pada daerah *fusion line* maupun HAZ yang cenderung lebih kecil.

Pada daerah *middle* di *fusion line* maupun HAZ dan *weld metal* pada semua variasi memiliki nilai kekerasan juga cenderung naik dengan meningkatnya jumlah *repair*. Hal ini disebabkan pada daerah tersebut merupakan daerah yang terpapar panas akibat adanya proses *repair*, sehingga daerah tersebut juga mengalami tambahan masukan panas yang menyebabkan naiknya nilai kekerasan meskipun nilai kekerasan daerah *middle* di bawah nilai kekerasan pada daerah *top*.

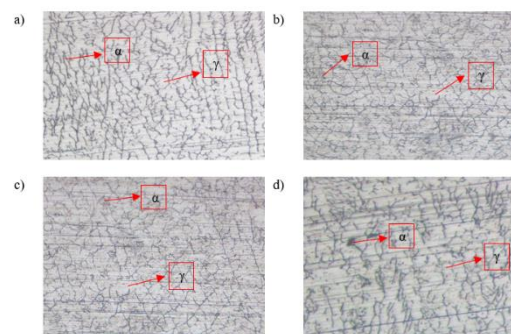
Pada daerah *bottom* di *fusion line* maupun HAZ dan *weld metal* dimana titik pengujian *hardness* pada bagian bawah material yang tentunya juga mengalami tambahan masukan panas lebih kecil dari pada daerah yang di *middle*. Sehingga nilai kekerasan pada daerah ini cenderung lebih stabil dibanding dengan nilai kekerasan pada daerah *top* dan daerah *middle*.



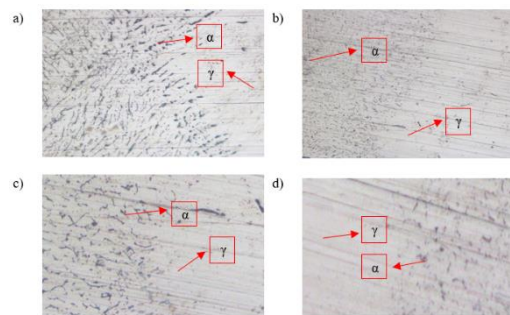
Gambar 7. Grafik hasil pengujian *hardness*

3.2 Uji Struktur Mikro

Pengujian mikro merupakan pengujian yang digunakan untuk melihat *microstructure* yang terdapat pada material dengan daerah-daerah tertentu. Pada pengujian mikro etsa dilakukan pengambilan gambar pada beberapa daerah diantaranya adalah *fusion line*, HAZ, dan *weld metal*. Pada pengujian mikro ini dilakukan dengan menggunakan perbesaran 200x dan 500x guna melihat secara lebih detail *microstructure* yang terjadi. Hasil pengujian mikro ini dilakukan pada daerah yang terjadi proses *repair* yaitu pada bagian yang terkena proses *repair* dikarenakan proses *repair* yang dilakukan adalah setengah dari ketebalan material, sehingga kemungkinan perubahan-perubahan struktur yang terjadi akan terlihat. Struktur mikro pada keempat variasi *multiple repair* pada daerah *weld metal*, HAZ dan *fusion line* dapat dilihat pada Gambar 8. dan Gambar 9. berikut.



Gambar 8. Struktur mikro pada *Weld Metal* dengan perbesaran 200X a) Spesimen *No Repair* b) Spesimen *Repair 2X* c) Spesimen *Repair 3X* d) Spesimen *Repair 4X*



Gambar 9. Struktur mikro pada *fusion line* dan HAZ dengan perbesaran 200X a) Spesimen *No Repair* b) Spesimen *Repair 2X* c) Spesimen *Repair 3X* d) Spesimen *Repair 4X*

Struktur mikro pada hasil penelitian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop *optic*. Bagian yang diamati adalah *fusion line*, HAZ, dan *weld metal* material. Pada material *stainless steel* yang terbentuk dari susunan *Chromium* dan *Nickel* akan membentuk fasa *austenite* dan *ferrite*. Unsur *Nickel* akan membentuk *austenite form* dan unsur *Chromium* akan membentuk *ferritic form*. Struktur *austenitic* (γ) digambarkan warna putih sedangkan untuk struktur *ferrite* (α) digambarkan warna hitam. Hasil pengamatan struktur mikro pada daerah HAZ dan *fusion line* terlihat bahwa butiran *austenite* yang

berwarna putih dan butiran *ferrite* yang berwarna hitam [7].

Adanya proses *repair* pada material tentu akan sangat berpengaruh pada daerah HAZ dikarenakan daerah HAZ hanya akan menerima masukan panas yang terus menerus sehingga akan berpengaruh terhadap struktur mikro yang akan terjadi. Dari proses *repair* tersebut, material yang mengalami proses *repair* memiliki struktur *ferrite* dengan warna hitam yang terus bertambah. Hal ini juga berkaitan dengan nilai kekerasan yang terjadi, sehingga dari hasil pengujian mikro tersebut nilai kekerasan pada bagian HAZ juga akan semakin naik.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian tarik terdapat nilai kekuatan tarik yang menunjukkan tren menurun. Dapat dilihat bahwa variasi proses tanpa *multiple repair* mempunyai nilai kekuatan tarik yang paling tinggi dengan rata-rata, yaitu 648,19 MPa dan variasi 2x *repair* mempunyai nilai kekuatan tarik paling rendah dengan rata-rata, yaitu 591,87 MPa. Diketahui juga bahwa nilai kekuatan tarik pada variasi 3x *repair* dan 4x *repair* mempunyai nilai kekuatan tarik lebih rendah dibandingkan dengan variasi tanpa *repair*. Nilai kekuatan tarik rata-rata nya adalah 634,63 MPa dan 622,185 MPa secara berurutan.

Hasil pengujian *hardness* menghasilkan nilai rata-rata tertinggi pada daerah *fusion line* atau HAZ terutama bagian yang terkena proses *repair* yaitu daerah *top* spesimen. Sedangkan nilai rata-rata terendah berada pada bagian yang tidak terkena proses *repair* yaitu pada daerah *bottom specimen*. Pada daerah *middle* nilai kekerasan pada HAZ dan *weld metal* juga cenderung naik. Dari semua hasil rata-rata nilai kekerasan masih dibawah dari batas yang diijinkan oleh prosedur yaitu 201 kgf/mm².

Hasil pengujian mikro menunjukkan morfologi yang terlihat adalah butiran *austenite* yang berwarna putih dan butiran *ferrite* yang berwarna hitam. Pada daerah *weld metal* terdapat struktur mikro yang terbentuk adalah morfologi *ferrite* yang ditunjukkan dengan warna hitam dan morfologi *austenite* yang ditunjukkan dengan warna putih. Bentuk dari morfologi *ferrite* adalah *vermicular ferrite*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada PPNS surabaya yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] Aghaali, I., Farzam, M., Golozar, M. A., & Danaee, I. (2014). The Effect of Repeated Repair Welding on Mechanical and Corrosion Properties of Stainless Steel 316l. *Materials and Design*, 54, 331– 41. 2014

- [2] ASME Section II Part A. Ferrous Material Specifications, New York The America Society of Mechanical Engineers. 2021.
- [3] ASME Section II Part C. Specification for Welding Rods, Electrodes, And Filler Metal, New York The America Society of Mechanical Engineers. 2021
- [4] ASME Section IX. Welding, Brazing, And Fusing Qualification, And Filler Metal, New York The America Society of Mechanical Engineers. 2021
- [5] GB/T 11170-2008 Stainless Steel. Determination of Multi-Element Contents. Spark Discharge Atomic Emission Spectrometric Method (Routine Method).
- [6] GB/T 14976-2012 Seamless *Stainless Steel* Pipes for Fluid Transport
- [7] Jiang, W., Luo, Y., Zhang, G., Woo, W., & Tu, S. T. (2013) Experimental to Study the Effect of Multiple Weld-Repairs on Microstructure, Hardness and Residual Stress for A Stainless Steel Clad Plate. *Materials and Design*, 51, 1052–1059. 2013
- [8] Vega, O. E., Hallen, J. M., Villagomez, A., & Contreras, A. "Effect of Multiple Repairs in Girth Welds of Pipelines on The Mechanical Properties". *Materials Characterization*, 59(10), 1498–1507. 2008.
- [9] Winarto, Winarto & Anis, M. & Refnaldi, (2019). Mechanical Properties and Microstructure of the Repeated Weld-Repairs of Austenitic Stainless Steel Plates. *MATEC Web of Conferences*. 269. 01010.10.1051/mateconf/201926901010
- [10] Wiryosumarto H., Okumura T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta. Pradya Paramita