

ANALISIS VARIASI JUMLAH PERLAKUAN *HEAT STRAIGHTENING* DAN *TRAVEL SPEED* MENGGUNAKAN *TORCH* GTAW PADA HASIL PENGELASAN MATERIAL PIPA *STAINLESS STEEL 304* TERHADAP NILAI KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO, DAN LAJU KOROSI

Fariz Naval Gesvianta ^{1*}, Bachtiar ², Mohammad Thoriq Wahyudi ³

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111^{1*}

Email: farizgesvianta15@gmail.com¹

Abstract – This study analyzed heat straightening using GTAW torch heating on SA-312 TP304 material with repair variations of 2x, 4x, and 6x, as well as travel speeds of 50 mm/min and 70 mm/min. The analysis includes microstructure, hardness, and corrosion rate using a three-electrode cell. Results show that specimens with 70 mm/min travel speed and 2x heat straightening have the highest hardness in the weld metal, HAZ, and base metal, valuing 165.5 kgf/mm², 170.5 kgf/mm², and 171.8 kgf/mm², respectively. Significant microstructural differences are seen in the HAZ at of 50 mm/min travel speed, where austenite and ferrite phases thickened at grain boundaries. Specimens with 50 mm/min travel speed and 6x heat straightening produced the highest heat input, resulting a weld bead width of 12.60 mm, while specimens with 70 mm/min travel speed and 2x heat straightening had the lowest heat input with a weld bead width of 10.75 mm. specimens with 6x heat straightening at 50 mm/min travel speed have the highest corrosion rate of 0.9515 mm/year, whereas specimens with 2x treatment at 70 mm/min have the lowest corrosion rate of 0.1656 mm/year. This study shows that heat straightening is directly proportional to the corrosion rate and inversely proportional to hardness.

Keyword: Corrosion Rate, Gas Tungsten Arc Welding, Heat straightening, Three- electrode Cell, Travel speed.

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu industri, sangat penting untuk memastikan bahwa produk yang dirancang dan diproduksi memenuhi standar kualitas yang berlaku. Saat ini banyak industri makanan dan minuman memerlukan peralatan dengan ketahanan korosi yang tinggi. Salah satu material *food grade* yang digunakan yaitu *stainless steel* jenis *austenitic* tipe 304, karena ketahanan korosinya yang baik, serta sifat las dan mekanis yang unggul [8].

PT. X menggunakan material SA-312 TP304 sebagai bahan baku peralatan pipa untuk pabrik gula di Malang yang disambung dengan metode pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*). Namun, sambungan tersebut mengalami distorsi karena urutan pengelasan yang tidak tepat, sehingga mengakibatkan ketidakcocokan antar section pipa. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan ulang untuk menyesuaikan posisi pipa.

Proses *heat straightening* dilakukan untuk meluruskan pipa yang terdistorsi dengan menggunakan *torch* GTAW tanpa filler dan menerapkan tekanan untuk mempercepat pelurusan pipa. Tidak ada batasan jumlah perbaikan ulang yang diatur [1]. Akibatnya, material pipa mengalami suhu yang melebihi batas sensitif *stainless steel* yang dapat memicu

pertumbuhan karbida krom dan meningkatkan laju korosi.

Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai analisis *heat straightening* menggunakan metode pemanasan *torch* GTAW pada perubahan sudut distorsi material SA-312 TP304. Pengujian *heat straightening* dilakukan sebanyak 2, 4, dan 6 kali, dengan kecepatan pengelasan (*travel speed*) ditetapkan pada 50mm/min dan 70mm/min. Kemudian dilakukan pengukuran perubahan sudut kemiringan akibat distorsi pada setiap variasi, serta mengevaluasi nilai kekerasan, struktur mikro, dan laju korosi pada masing - masing variasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah variasi dalam *travel speed* dan jumlah proses *heat straightening* mempengaruhi struktur mikro, nilai kekerasan, dan laju korosi material SA-312 TP304, serta untuk mengukur derajat perubahan distorsi yang terjadi.

2. METODOLOGI

2.1 Heat Straightening

Heat straightening merupakan proses yang melibatkan penerapan panas untuk memperbaiki deformasi lokal pada logam dengan cara memanfaatkan perubahan bentuk logam akibat pemanasan dan pendinginan. Proses *heat straightening* pada material *stainless steel* dilakukan dengan menggunakan panas dari *torch* GTAW tanpa filler metal. Metode ini umumnya

diterapkan untuk memanaskan logam sehingga terjadi pemuaihan saat panas dan penyusutan saat dingin. Dalam praktiknya, nyala *oxy-acetylene* sering digunakan untuk memanaskan bagian logam yang terdistorsi dengan cepat. Saat pendinginan, logam menyusut lebih banyak daripada saat pemanasan, sehingga distorsi dapat diluruskan kembali [5].

2.2 Pengujian Korosi

Pada penelitian ini pengujian korosi dilakukan dengan metode elektrokimia seperti uji polarisasi potensiodinamik dan polarisasi elektrokimia. Metode ini mengukur arus dan potensial elektrokimia untuk mengevaluasi respons material terhadap korosi. Pengujian elektrokimia umumnya Menggunakan metode sel tiga elektroda, yang merupakan perangkat standar untuk penelitian kuantitatif sifat bahan korosi. Sel tiga elektroda adalah pengembangan dari sel korosi basah, dan detail pengujiannya dapat mengacu pada standar ASTM G5 [3].

2.3 Pengujian Kekerasan

Hardness test dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material pada daerah *heat affected zone* (HAZ), base metal dan *weld metal* dengan metode pengukuran dilakukan pada titik atau daerah tertentu [6]. Pada penelitian ini pengujian kekerasan menggunakan metode *vickers*. Metode pengujian kekerasan *vickers* sering disebut juga sebagai *Diamond Pyramid Hardness test* (DPH). Uji kekerasan *vickers* menggunakan indenter piramida intan dengan besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136 derajat.

2.4 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi mengandalkan perbedaan intensitas sinar pantulan pada permukaan logam yang diamati dengan mikroskop dan menghasilkan gambar dengan intensitas berbeda (gelap-terang). Hal ini akan membantu dalam membedakan fasa dan ukuran butiran. Tingkat kekasaran butir meningkat seiring dengan peningkatan masukan panas, yang mempercepat pertumbuhan dendrit dan memperluas zona fusi serta area HAZ [4].

Ada dua jenis pengujian dalam metalografi:

1. Pengujian Makro: Melibatkan pemeriksaan visual cacat dengan mata telanjang atau pembesaran rendah (kurang dari x50), dengan atau tanpa proses etsa.
2. Pengujian Mikro: Menggunakan mikroskop dengan perbesaran x50 hingga x500, dengan atau tanpa proses etsa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Parameter *Heat Straightening*

Hasil yang diperoleh pada pengujian *heat straightening* terdapat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1 Hasil Parameter *Heat Straightening*

Spesimen	Current (A)	Voltage (V)	Travel speed (mm/min)	Jumlah (x)	Heat Input (kJ/mm)	Temperatur °F (°C)
A1	80	10	50	2	1.920	625 (329)
A2	80	10	50	4	3.840	853 (456)
A3	80	10	50	6	5.760	906 (485)
B1	80	10	70	2	1.371	525 (273)
B2	80	10	70	4	2.743	785 (418)
B3	80	10	70	6	4.114	892 (477)

Hasil *heat straightening* menunjukkan bahwa spesimen dengan variasi *travel speed* 50 mm/min memiliki *heat input* yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen pada *travel speed* 70 mm/min di setiap variasi perlakuan.

Dalam penelitian ini besar perubahan sudut distorsi terukur semakin besar masukan panas yang diberikan maka perubahan sudut yang terjadi juga semakin besar. Perubahan sudut yang terjadi dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2 Perubahan Sudut Akibat *Heat Straightening*

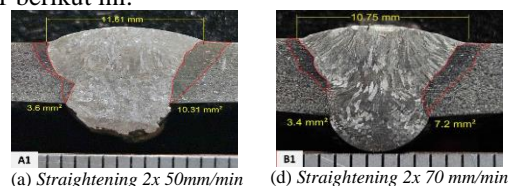
Spesimen	Perubahan Sudut (°)		
	Before	After	Perubahan
A1	3.3	1.6	1.7
A2	3.2	1.0	2.2
A3	3.5	0.2	3.3
B1	3.1	2.2	0.9
B2	3.5	1.5	2.0
B3	3.4	0.8	2.6

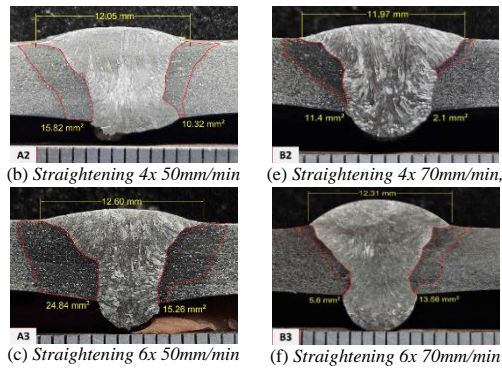
Dari data, spesimen A3 menjalani 6 kali perlakuan *heat straightening* dengan *travel speed* 50 mm/min menerima masukan panas tertinggi sebesar 5.76 kJ/mm dan mengalami perubahan sudut sebesar 3.3°. Sebaliknya, spesimen B1 dengan 2 kali perlakuan pada *travel speed* 70 mm/min hanya mengalami perubahan sudut sebesar 0.9°. Ini menunjukkan bahwa perubahan sudut sebanding dengan masukan panas yang diterima.

3.2 Hasil Pengujian Metalografi

Penelitian ini melibatkan dua jenis uji metalografi yaitu uji mikro (*microscopic examination*) dan uji makro (*macroscopic examination*). Berikut merupakan hasil dan pembahasan untuk metode uji makro.

Pengujian makro dilakukan untuk mengamati bentuk dan penampakan permukaan spesimen serta perbedaan kolam las yang mungkin terjadi akibat variasi jumlah perlakuan *heat straightening* dan perbedaan *travel speed*. Hasil pengujian makro dapat dilihat dari gambar 1 berikut ini.





Gambar 1 Hasil Struktur Makro

Hasil uji makro pada perbedaan jumlah perlakuan dan *travel speed* pada saat proses *heat straightening* dilampirkan pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3 Hasil Pengukuran

Spesimen	Travel speed (mm/min)	Jumlah (x)	Bead Width (mm)	Luas HAZ (mm ²)
A1	50	2	11.61	13.91
A2	50	4	12.05	26.14
A3	50	6	12.60	41.10
B1	70	2	10.75	10.60
B2	70	4	11.97	13.50
B3	70	6	12.31	19.16

Dengan hasil pengujian makro yang telah dilakukan efek pemanasan atau *heat straightening* dengan variasi jumlah perlakuan dan *travel speed* menunjukkan perbedaan permukaan logam las. Hal ini ditengarai akibat masukan panas dari proses *heat straightening* menyebabkan pelebaran manik las dan juga HAZ. Selain itu perbedaan *travel speed* juga mempengaruhi pelebaran manik las yang terjadi, semakin cepat *travel speed* dengan arus sama masukan panas yang terjadi kecil sehingga pelebaran manik las tidak terlalu besar.

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada setiap daerah pada proses pengelasan, mulai dari base metal, HAZ, dan weld metal. Pengujian selama 10 detik dengan beban 2 kg. Pada setiap daerah dilakukan indentasi sebanyak 3 titik. Nilai kekerasan dapat dilihat pada tabel 4 sampai tabel 6 berikut ini.

Tabel 4 Hasil Nilai Kekerasan Weld Metal

Variasi	Daerah	Nilai Kekerasan			Rata-Rata (kgf/mm ²)
		1	2	3	
A1	Weld Metal	154,1	159,4	157,1	156,9
A2		154,4	156,1	158,2	156,2
A3		156,6	152,7	157,2	155,5
B1		161,3	167,3	167,8	165,5
B2		159,5	150	160	156,5
B3		151,4	158	159	156,1

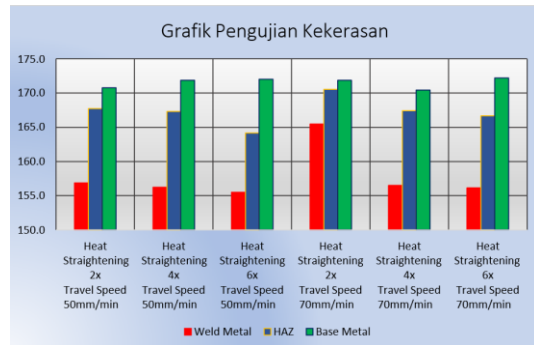
Tabel 5 Hasil Nilai Kekerasan HAZ

Variasi	Daerah	Nilai Kekerasan			Rata-Rata (kgf/mm ²)
		1	2	3	
A1	HAZ	167,3	168,4	167,5	167,7
A2		168	169,7	164,2	167,3
A3		164,7	167,4	160,4	164,2
B1		167,1	173,2	171,3	170,5

B2	163,4	173,4	165,4	167,4
B3	168,9	164,8	166,3	166,7

Tabel 6 Hasil Nilai Kekerasan Base Metal

Variasi	Daerah	Nilai Kekerasan			Rata-Rata (kgf/mm ²)
		1	2	3	
A1	Base Metal	167,2	172,7	172,4	170,8
A2		178,9	163,9	172,8	171,9
A3		171,6	167,1	177,3	172,0
B1		173,3	168,1	174,1	171,8
B2		169,2	166,2	175,9	170,4
B3		173,3	177,6	165,7	172,2



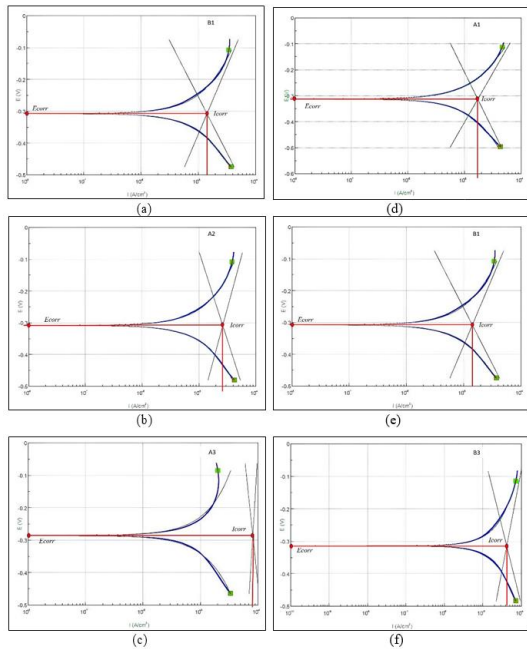
Gambar 2 Grafik Pengujian Kekerasan

Pada grafik mengilustrasikan bahwa nilai kekerasan pada *weld metal* umumnya lebih rendah dibandingkan dengan daerah lainnya, karena disebabkan oleh paparan panas yang sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa variasi dalam masukan panas mempengaruhi kekerasan material.

Pada variasi *travel speed* 50 mm/min, nilai kekerasan *weld metal* cenderung rendah karena tingginya masukan panas mengakibatkan pendinginan yang lambat. Sebaliknya, pada *travel speed* 70 mm/min, nilai kekerasan lebih tinggi karena masukan panas yang rendah menyebabkan laju pendinginan yang lebih cepat. Daerah HAZ dan *weld metal* adalah yang paling terpengaruh oleh panas, sehingga nilai kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan *base metal*. *Base metal* yang tidak terpapar langsung pada proses panas, mengalami pendinginan yang lebih cepat dan karenanya memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi.

3.4 Hasil Pengujian Korosi

Prosedur yang digunakan mengikuti standar ASTM G5. Hasil perhitungan laju korosi didapat dari analisis grafik polarisasi yang ditunjukkan pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3 Grafik Polarisasi Tafel (a) Straightening 2x 50mm/min, (b) Straightening 4x 50mm/min, (c) Straightening 6x 50mm/min, (d) Straightening 2x 70 mm/min, (e) Straightening 4x 70mm/min, (f) Straightening 6x 70mm/min

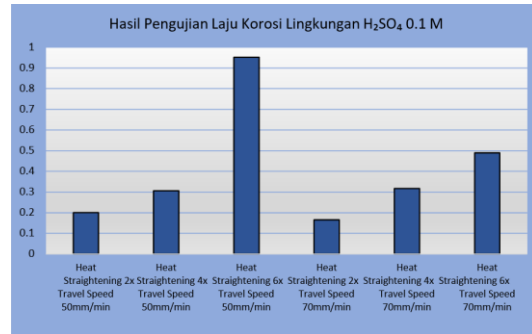
Dari hasil grafik polarisasi tafel diatas, nilai I_{corr} dihasilkan melalui perpotongan dua garis menyilang sedangkan nilai E_{corr} didapatkan dari nilai potensial yang terbaca pada garis lurus ke perpotongan nilai I_{corr} . Setelah pengeplotan potensial didapatkan data hasil laju korosi yang ditunjukkan pada tabel 7 berikut ini.

Tabel 7 Hasil Pengujian Laju Korosi

Variasi	E_{corr} (mV)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	EW (g/mol)	ρ (g/cm ²)	K (mm.g/ μA cm yr)	Corrosion Rate (mm/yr)
A1	-313,86	17,213	27,9235	7,85	0,00327	0,2002
A2	-309,3	26,345	27,9235	7,85	0,00327	0,3064
A3	-286,28	81,801	27,9235	7,85	0,00327	0,9515
B1	-308,6	14,234	27,9235	7,85	0,00327	0,1656
B2	-356,14	27,244	27,9235	7,85	0,00327	0,3169
B3	-315,15	42,105	27,9235	7,85	0,00327	0,4898

Berdasarkan analisis data yang diperoleh, terdapat hubungan langsung antara nilai I_{corr} dan laju korosi material, sementara nilai E_{corr} tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap laju korosi. Rapat arus korosi, yang diukur sebagai I_{corr} , sebanding dengan laju korosi material dalam medium atau lingkungannya [7].

Pengaruh variasi jumlah perlakuan *heat straightening* dan perbedaan *travel speed* pada hasil pengelasan material pipa *stainless steel* 304 yang dikorosi dengan cairan H_2SO_4 0,1 M dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4 Grafik Laju Korosi

Hasil laju korosi pada setiap spesimen didapatkan sejalan dengan dugaan yang terjadi pada pengamatan struktur mikro. Dimana terdapat dual *ditch structure* yaitu indikasi material terserang korosi intergranular jika pada batas butir dikelilingi parit atau *ditch* [2]. Sedangkan kondisi seperti dual structure dijelaskan kondisi batas butir terdapat parit namun tidak mengelilingi batas butir dengan sempurna. Pada kondisi *dual structure* memungkinkan material terserang korosi intergranular karena terdapat sedikit area yang tersensitisasi.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan berdasarkan hasil dari pengujian yang telah dilakukan antara lain sebagai berikut:

- Hasil pengujian makro menunjukkan peningkatan jumlah perlakuan *heat straightening* dengan *travel speed* yang lebih rendah menyebabkan peningkatan masukan panas yang signifikan, sehingga berdampak pada pelebaran manik las dan perluasan area HAZ. Untuk variasi proses *heat straightening* sebanyak 6 kali dengan *travel speed* 50 mm/min, didapatkan masukan panas tertinggi yang mengakibatkan pelebaran manik las sebesar 12,60 mm dan luasan HAZ mencapai 41,10 mm². Sebaliknya, pada variasi dengan 2 kali perlakuan *heat straightening* dan *travel speed* 70 mm/min, yang menghasilkan masukan panas terendah, lebar manik las yang teramati hanya 10,75 mm dan luasan HAZ sebesar 10,60 mm². Hasil pengujian mikro pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal*, pengamatan menunjukkan terbentuknya fasa *austenite* dan *ferrite*, yang merupakan fase khas dari *austenitic stainless steel*. Namun, terdapat perbedaan signifikan pada daerah HAZ. Pada spesimen dengan *travel speed* 50 mm/min, terlihat adanya fasa *austenite* dengan penebalan area gelap di sekitar batas butir, yang mengindikasikan adanya pengendapan karbida krom. Sebaliknya, pada spesimen dengan *travel speed* 70 mm/min, pengendapan karbida krom tidak tampak jelas.
- Hasil pengujian kekerasan menunjukkan

- bahwa nilai kekerasan pada setiap spesimen sangat dipengaruhi oleh jumlah masukan panas yang diterima. Pada spesimen B1, yang mengalami perlakuan *heat straightening* sebanyak 2 kali dengan *travel speed* 70 mm/min, terukur nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada ketiga daerah yang diuji *weld metal* dengan 165.5 kgf/mm², *HAZ* dengan 170.5 kgf/mm², dan *base metal* dengan 171.8 kgf/mm². Sebaliknya, spesimen A3 menunjukkan nilai kekerasan terendah pada ketiga daerah tersebut, yaitu *weld metal* sebesar 155.5 kgf/mm², *HAZ* sebesar 164.2 kgf/mm², dan *base metal* sebesar 172 kgf/mm². Hal ini disebabkan oleh spesimen A3 yang mengalami masukan panas tertinggi akibat perlakuan *heat straightening* sebanyak 6 kali dengan *travel speed* 50 mm/min.
3. Hasil pengujian laju korosi mengindikasikan bahwa laju korosi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya masukan panas pada material. Spesimen A3 dengan perlakuan *heat straightening* sebanyak 6 kali dan *travel speed* 50 mm/min, menunjukkan laju korosi tertinggi, yaitu 0.9515 mm/year. Sebaliknya, spesimen B1, yang mengalami perlakuan *heat straightening* sebanyak 2 kali dengan *travel speed* 70 mm/min, memiliki laju korosi yang jauh lebih rendah, yakni 0.1656 mm/year. Penelitian ini menegaskan bahwa semakin tinggi masukan panas yang diterima oleh material, semakin tinggi pula laju korosi yang terjadi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyusunan jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
2. Bapak Priyambodo Nur Ardi Nugroho, S.T., M.T., PhD. selaku Ketua Jurusan Teknik Bangunan Kapal
3. Bapak Mukhlis, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Pengelasan
4. Bapak Bachtiar, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 yang telah berkenan memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta saran kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak Mohammad Thoriq Wahyudi, S.T., M.M. selaku dosen pembimbing 2 yang telah berkenan memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta saran kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak Ibu Dosen Pengajar dan Staff Program Studi D4 Teknik Pengelasan Politeknik

Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberi banyak wawasan dan membekali penulis banyak ilmu selama masa kuliah.

7. Ayah tercinta Bapak Achmad Soewandi serta Ibunda tercinta Ibu Ita Meinawati, S.H. Kasih sayang serta doa yang tak akan pernah berhenti diberikan kepada penulis.
8. PT. Lintech Seaside Facility, selaku industri yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melakukan OJT (*On the Job Training*).
9. mahasiswa Program Studi D4 Teknik Pengelasan, khususnya Angkatan 2020 yang telah berjuang bersama hingga akhir masa perkuliahan.
10. Semua Pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan banyak bantuan kepada penulis dalam terselesaikannya tugas akhir ini.

6. PUSTAKA

- [1] ASME B31.3-Process Piping. 2020. "ASME B31.3-2014, Process Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31." *Chemical Engineer* 76(8):95–108.
- [2] ASTM A262. 2015. "Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic CLASSIFICATION OF ETCH STRUCTURES OF." (September). doi: 10.1520/A0262-15.
- [3] ASTM G5. 2013. "G5-14 Making Potentiodynamic Anodic Polarization." 1–8. doi: 10.1520/G0005-13.2.
- [4] Kumar, Subodh. et al. 2011. "Effect of Heat Input on the Microstructure and Mechanical Properties of Gas Tungsten Arc Welded AISI 304 Stainless Steel Joints." *Materials and Design* 32(6):3617–23. doi: 10.1016/j.matdes.2011.02.017.
- [5] Leksonowati, Nur Fitria Pujo et al. 2021. "Studi Pengaruh Flame Straightening Terhadap Kekerasan Material High Strength Low Alloy (HSLA)." *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)* 3(1):27–31. doi: 10.30871/jatra.v3i1.3109.
- [6] Ojahan, Tumpal. 2017. "Analisis Pengaruh Parameter Pengelasan Gtaw Pada." *Poros*, 15:53–62.
- [7] Prasetyo, Ficky. 2021. "ANALISIS PENGARUH KONSENTRASI EKSTRAK KULIT KIWI SEBAGAI GREEN INHIBITOR DAN PH HCL TERHADAP BAJA ASTM A106 GRADE B."
- [8] Zhang, D. H. et al. 2021. "Study of the Corrosion Characteristics of 304 and 316L Stainless Steel in the Static Liquid Lithium." *Journal of Nuclear Materials* 553:1. doi: 10.1016/j.jnucmat.2021.153032.

