

## **Analisis Penggunaan Nickel-Based Elektrode Dan Heat Input Pada Pengelasan Material Hastelloy-30 Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro**

**Anugrah Huda Madjid<sup>1</sup>, Bachtiar<sup>2</sup>, Imah Luluk Kusminah<sup>3</sup>**

*Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, 60111,*

*Email: anugrahmadjid@gmail.com<sup>1</sup>*

---

**Abstract** – Storage tanks in the petrochemical industry are commonly made of steel; however, their susceptibility to corrosion in corrosive environments poses significant challenges. One solution is to use nickel-based alloys such as Hastelloy G-30, which is known for its excellent corrosion resistance to aggressive chemicals like sulfuric acid and hydrochloric acid. This study evaluates the effects of using nickel-based electrodes, ENiCrMo-11 and ENiCrMo-13, as well as variations in heat input during welding, on the hardness, and microstructure of Hastelloy G-30 material. Hardness tests revealed that specimen A1, welded with the ENiCrMo-13 electrode at low heat input, achieved the highest hardness in the weld metal, measuring 236.11 kgf/mm<sup>2</sup>, whereas specimen B2, welded with the ENiCrMo-11 electrode at high heat input, had the lowest hardness in the heat-affected zone (HAZ) at 187.63 kgf/mm<sup>2</sup>. The microstructure analysis showed variations, with columnar dendrites forming in all specimens and equiaxed dendrites observed in those with high heat input.

**Keyword:** Hastelloy, Nickel-base Electrode, heat input, Hardness, microstructure

---

### **1. PENDAHULUAN**

Tangki di industri petrokimia sering terbuat dari baja karena ketangguhan dan kemampuannya untuk dilas dengan baik. Namun, baja rentan terhadap korosi, terutama di lingkungan korosif. Untuk mengatasi masalah ini, bisa dilakukan pelapisan atau menggunakan material yang lebih tahan korosi, seperti paduan nikel. Paduan nikel sangat efektif melawan bahan kimia korosif seperti asam sulfat dan asam klorida, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan korosi tinggi.

Paduan nikel adalah material penting yang dikenal karena ketahanan korosi luar biasa dan kekuatan mekanik yang baik pada suhu tinggi. Sejak awal penggunaannya pada tahun 1900-an, komposisinya terus berkembang untuk meningkatkan ketahanan korosi dan suhu. Dua perusahaan utama dalam pengembangan paduan nikel adalah *Special Metals Corporation*, yang memproduksi paduan seperti INCONEL dan INCOLOY, dan Haynes International, Inc., yang mengembangkan paduan HASTELLOY dan HAYNES sejak didirikan pada tahun 1912. [5] Hastelloy G-30 adalah paduan nikel-molybdenum yang dikenal karena ketahanan korosinya yang sangat baik, menjadikannya ideal untuk aplikasi industri, termasuk dalam pembuatan peralatan seperti reaktor, kolom distilasi, pipa, dan tangki penyimpanan asam sulfat serta asam klorida. Namun, ketahanan korosi aduan ini bisa menurun

jika teknik pengelasan tidak tepat. Oleh karena itu, pemilihan heat input dan elektroda yang sesuai sangat penting untuk menjaga kinerja korosi Hastelloy G-30 selama proses pengelasan [3].

Penelitian ini akan menguji penggunaan elektroda ENiCrMo-11 dan ENiCrMo-13 dalam pengelasan Hastelloy G-30 untuk mengevaluasi nilai ketahanan daerah lasan. Elektroda ENiCrMo-11, yang mengandung nikel, kromium, dan molybdenum, menawarkan ketahanan kekuatan mekanis yang baik dan elektroda ENiCrMo-13 memiliki kandungan nikel, kromium, dan molybdenum yang sedikit lebih tinggi, yang dapat memengaruhi sifat mekanisnya. Selain itu, penelitian ini juga akan mengevaluasi dua tingkat heat input dalam proses pengelasan SMAW untuk melihat dampaknya terhadap kekerasan dan struktur mikro Hastelloy G-30.

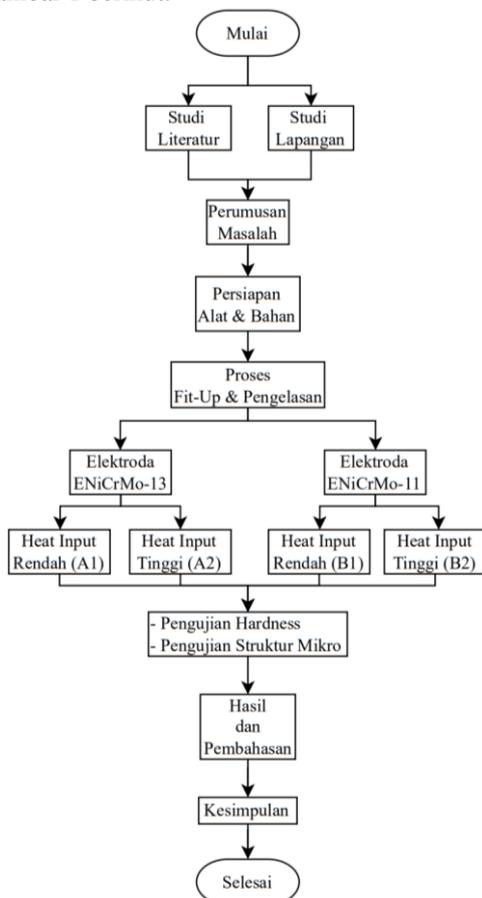
Analisa struktur mikro dan kekerasan material Hastelloy G-30 bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh parameter pengelasan terhadap performa material. Struktur mikro, yang mencakup distribusi elemen paduan dan fasa-fasa tertentu, mempengaruhi sifat mekanis dan ketahanan korosi. Perubahan dalam struktur mikro akan menunjukkan efek dari jenis elektroda dan *heat input* pada proses pengelasan. Selain itu, pengukuran kekerasan material akan memberikan indikasi tentang kekuatan mekanis dan potensi

masalah seperti retak atau deformasi pada sambungan las.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yang mencakup studi literatur dan lapangan, pengumpulan data dan persiapan spesimen, proses pengelasan yang berjumlah empat spesimen dengan kode A1 (ENiCrMo-13 & Heat Input rendah), A2 (ENiCrMo-13 & Heat Input tinggi), B1 (ENiCrMo-11 & Heat Input rendah), B2 (ENiCrMo-11 & Heat Input tinggi) pembuatan spesimen uji, pengujian kekerasan dan struktur mikro, analisis data, serta pembahasan dan kesimpulan. Untuk diagram alir dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

### 2.2 Pengujian Kekerasan

Dalam engineering yang menyangkut logam kekerasan dinyatakan sebagai kemampuan dalam menahan indentasi penetrasi abrasi atau dengan kata lain ketahanan logam terhadap deformasi plastis (Modul ajar DT/NDT). Pengujian hardness dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal dari masing-masing spesimen. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk pengujian kekerasan adalah metode hardness vickers. Pemberian beban pada

permukaan sampel dengan menggunakan indentor, sehingga menghasilkan jejak. Metode ini disebut metode indentasi, setelah adanya indentasi akan ada jejak indentor yang kemudian dilakukan pengukuran.

### 2.2 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian mikro pada pengelasan adalah proses evaluasi struktur mikroskopis dan karakteristik mikrologi dari sambungan las atau daerah las pada material logam. Tujuan dari pengujian mikro pada pengelasan termasuk pemahaman tentang struktur mikroskopis dari logam tersebut, identifikasi cacat mikro yang mungkin terjadi selama proses pengelasan, dan penilaian integritas dan kualitas sambungan las. Beberapa teknik pengujian mikro yang umum digunakan pada pengelasan melibatkan pengamatan struktur mikroskopis dengan mikroskop metalografi. *Microscopic examination* didefinisikan sebagai pengujian menggunakan mikroskop dengan pembesaran x 50 sampai dengan x 500 dengan atau tanpa proses etsa.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pengelasan

Proses pengelasan spesimen dilakukan di workshop Departemen Fabrikasi PT. Petrokimia Gresik. Selama proses pengelasan dilakukan monitoring terhadap parameter pengelasan yang digunakan. Pengambilan data aktual pengelasan dilakukan saat proses pengelasan berlangsung menggunakan alat bantuan seperti ampere meter untuk mengukur arus dan tegangan agar tetap pada batas yang ditentukan. Selama proses pengelasan dilakukan record data parameter aktual sesuai Gambar 2.

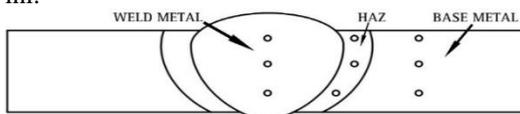
Spesimen	Pass	Voltage (V)	Current (A)	Waktu (min)	travel speed (mm/min)	Heat Input (J/mm)
A1 Elektroda ENiCrMo-13 Heat Input Rendah	Root	24	89	4,09	61,12	2096,70
	Fill 1	24	90,3	2,54	98,43	1321,13
	Fill 2	24	90,8	2,11	118,48	1103,55
	Fill 3	24	90,7	2,07	120,77	1081,43
	Fill 4	24	90,1	2,04	122,55	1058,71
	Fill 5	24	92,1	2,13	117,37	1129,96
	Fill 6	24	91,9	2,12	117,92	1122,21
	Cap 1	24	91	3,38	73,96	1771,66
	Cap 2	24	91	3,29	75,99	1724,49
	Root	26	110,1	4,13	60,53	2837,41
	Fill 1	26	111,1	2,41	103,73	1670,77
	Fill 2	26	110,5	2,47	101,21	1703,11
Fill 3	26	111	2,23	112,11	1544,59	
Fill 4	26	110,6	2,07	120,77	1428,60	
Fill 5	26	111	2,54	98,43	1759,31	
Fill 6	26	111,3	2,38	105,04	1652,94	
Cap 1	26	111,8	3,32	75,30	2316,14	
Cap 2	26	111,8	3,3	75,76	2302,19	
B1 Elektroda ENiCrMo-11 Heat Input Rendah	Root	24	88,8	4,15	60,24	2122,68
	Fill 1	24	90,8	2,12	117,92	1108,78
	Fill 2	24	91,2	2,31	108,23	1213,47
	Fill 3	24	90,5	2,32	107,76	1209,37
	Fill 4	24	89,7	2,4	104,17	1240,01
	Fill 5	24	91,8	2,45	102,04	1295,48
	Fill 6	24	91,6	2,39	104,60	1261
	Cap 1	24	92,1	3,41	73,31	1808,99
	Cap 2	24	92,1	3,38	73,96	1793,08
	Root	26	110,2	4,17	59,95	2867,49
	Fill 1	26	110,8	2,33	107,30	1610,94
	Fill 2	26	111,1	2,24	111,61	1552,91
Fill 3	26	110,7	2,32	107,76	1602,58	
Fill 4	26	110,3	2,18	114,68	1500,43	
Fill 5	26	111,1	2,35	106,38	1629,17	
Fill 6	26	111,3	2,98	83,89	2069,65	
Cap 1	26	111,5	3,41	73,31	2372,54	
Cap 2	26	111,5	3,32	75,30	2309,92	

Gambar 2 Parameter Pengelasan

Heat input yang diterapkan pada empat spesimen uji pengelasan Hastelloy G-30 berada dalam rentang rata-rata 1378,87 J/mm hingga 1946,18 J/mm. Berdasarkan literatur yang ada, batas maksimum heat input yang direkomendasikan untuk pengelasan material berbasis nikel adalah antara 1000 J/mm hingga 3.500 J/mm. Oleh karena itu, semua nilai *heat input* pada spesimen uji tersebut berada dalam batas yang direkomendasikan. Pada penelitian ini parameter pengelasan akan difokuskan pada pengaruh heat input terhadap uji korosi, nilai kekerasan dan struktur mikro.

### 3.2 Pengujian Kekerasan

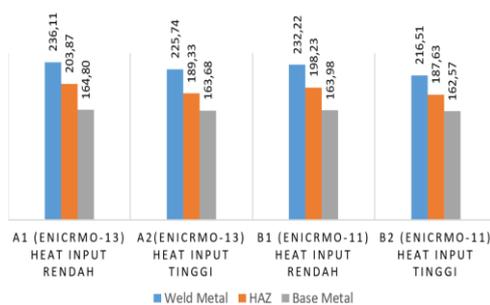
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dan spesimen sebuah proses pengelasan. Pengujian kekerasan dengan metode ini dilakukan dengan metode *hardness vickers* (HVN) dengan gaya pembebanan 10 kgf serta waktu pembebanan 15 detik lalu hasil nilai kekerasan akan terlihat pada layar monitor mesin uji *hardness* setelah mengatur diagonal indentasi. Pengujian dilakukan titik pada setiap daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* pada setiap variasi suhu PWHT. Titik pengujian *hardness* pada spesimen dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 3 Titik Uji Hardness

Berikut adalah hasil pengujian *hardness* pada spesimen material Hastelloy G-30 yang terdapat pada gambar 3 dibawah ini.

#### HASIL HARDNESS TEST



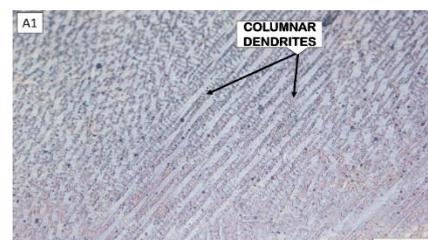
Gambar 4 Hasil rata-rata uji *hardness*

Dari hasil pengujian spesimen A1 dan A2 dengan pemasukan panas (*Heat Input*) semakin rendah didapatkan nilai kekerasannya semakin tinggi sedangkan data yang terambil pada pemasukan panas (*Heat Input*) yang semakin tinggi memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah. Pada *base metal* memiliki nilai yang relatif sama, dikarenakan pada daerah *base metal* tidak terpengaruh pemasukan panas pengelasan dan tidak adanya perlakuan panas sebelum maupun

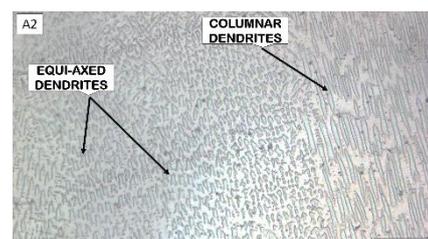
sesudah pengelasan. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh [1] menyatakan bahwa semakin cepat laju pengelasan / semakin rendah pemasukan panas (*Heat Input*) pengelasan maka akan menghasilkan struktur mikro yang lebih halus, yang berakibat pada semakin tingginya nilai kekerasan, sedangkan semakin lambat laju pengelasan / semakin besar pemasukan panas (*Heat Input*) menyebabkan semakin tinggi nilai kekerasan. Sifat kekerasan pada pengujian ini juga dipengaruhi oleh komposisi kimia elektroda yang dipakai pada spesimen A1 dan A2 *heat input* rendah maupun tinggi dengan menggunakan elektroda ENiCrMo-13 memiliki kekerasan lebih tinggi dari pada spesimen B1 dan B2 yang menggunakan elektroda ENiCrMo-11 dikarenakan elektroda ENiCrMo-13 memiliki kandungan Nikel dan Molibdenum lebih tinggi dari pada elektroda ENiCrMo-11, unsur Nikel (Ni) meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja dengan menstabilkan fase austenit. Pada daerah lasan, nikel membantu mencegah pembentukan struktur martensit yang rapuh setelah pendinginan, yang dapat menyebabkan retakan.

### 3.3 Hasil Uji Struktur Mikro

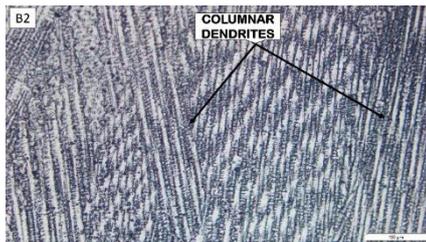
Pengujian mikro dilakukan untuk mengamati struktur mikro menggunakan optical *microscopy* yang terbentuk setelah proses pengelasan. Hal ini dilakukan untuk melihat terjadinya perubahan struktur mikro pada obyek penelitian sebagai akibat dari beberapa variasi *Heat Input* dan elektroda saat proses pengelasan yang diterima oleh material Hastelloy G-30. Struktur mikro yang diamati yakni pada daerah *weld metal*, HAZ dan *base metal* dengan perbesaran 100X, 200X dan 500X (memilih salah satu perbesaran yang jelas). Hasil dari uji mikro dapat dilihat pada penyajian gambar sebagai berikut.



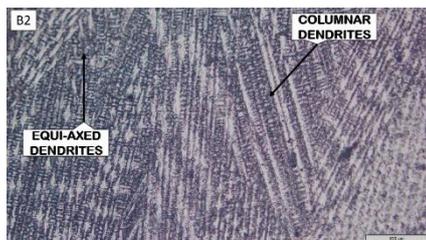
Gambar 5 Struktur Mikro *Weld Metal* spesimen A1 Elektroda ENiCrMo-13 Heat Input rendah



Gambar 6 Struktur Mikro *Weld Metal* spesimen A2 Elektroda ENiCrMo-13 Heat Input tinggi



Gambar 7 Struktur Mikro *Weld Metal* spesimen A2 Elektroda ENiCrMo-13 Heat Input rendah



Gambar 8 Struktur Mikro *Weld Metal* spesimen B2 Elektroda ENiCrMo-11 Heat Input tinggi

Pada dasarnya selama proses pemadatan logam *interface* S/L biasanya berbentuk planar, kecuali terjadi pendinginan *thermal* yang ekstrem. Tapi, pada pemadatan paduan *interface* S/L dan mode pemadatan berbentuk *planar*, *cellular*, atau *dendritik*. Hal ini bergantung pada kondisi pemadatan dan sistem material yang digunakan. Terdapat empat tipe dasar morfologi *interface* S/L yang diamati selama proses pemadatan berlangsung yaitu berupa *planar*, *cellular*, *columnar* serta *axi-axed dendritic* [8]. Pada keempat spesimen Elektroda ENiCrMo-13 maupun ENiCrMo-11 fasa *columnar dendrite* terlihat memiliki pertumbuhan vertikal atau kolumnar, dengan struktur berlapis dan cabang primer serta sekunder. Fasa jenis *columnar dendrite* ini sangat mungkin terbentuk pada area *weld metal* yang menggunakan elektroda yang berbasis nikel. Jika logam las memiliki kandungan kromium yang tinggi sementara logam dasar memiliki sedikit atau hampir tidak ada kromium, kecenderungan karbon bermigrasi dari HAZ ke logam las sangat tinggi. Perbedaan tingkat pendinginan di pusat las dan permukaan las dapat menghasilkan pembentukan dendrit *columnar* [4]. Penelitian lain yang dilakukan oleh [7] terbentuknya *dendrite columnar* karena gradien termal yang curam antara batas fusi dan pusat, ini akan menghasilkan tegangan termal dan kemudian mengarah pada pembentukan MGBs. Sedangkan MGBs adalah *migration grain boundaries* atau batas butir yang bermigrasi. Hal ini merupakan fenomena dalam mikrostruktur material dimana batas butir bergerak atau bermigrasi selama terjadinya proses pemanasan, pendinginan atau deformasi. Migrasi batas butir ini selanjutnya dapat mempengaruhi sifat mekanik suatu material. Fasa lain yang terbentuk pada spesimen A2 dan B2 Elektroda ENiCrMo-13

dan ENiCrMo-11 *Heat input* tinggi adalah *equiaxed dendrite*. Menurut [6] terbentuknya fasa *equiaxed dendrite* karena adanya peningkatan daya pengelasan yang berakibat pada meningkatnya nilai G/R, G/R adalah laju pendinginan (G) dan laju pendinginan atau percepatan pertumbuhan (R), yang mendorong pertumbuhan *equiaxed*. Penelitian lain yang diteliti oleh [2] menyebut bahwa pembentukan butir *equiaxed* pada *weld metal* memiliki banyak keuntungan, seperti kerentanan yang lebih rendah terhadap retak pemadatan, keunggulan sifat mekanik, daktilitas tinggi serta ketangguhan fraktur.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan terhadap hasil perbandingan *nickel-based electrode* dan *heat input* pada pengelasan Hastelloy-G30 terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Spesimen kekerasan dipengaruhi oleh masukan panas (*Heat Input*) yang diterima masing-masing spesimen. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen A1 dengan elektroda ENiCrMo-13 dan *heat input* rendah dengan nilai 236,11 kgf/mm<sup>2</sup> pada *weld metal* dan 203,87 kgf/mm<sup>2</sup> pada HAZ nilai kekerasan ini juga dipengaruhi karena adanya penambahan unsur Mo dan Ni pada elektroda ENiCrMo-13 yang lebih besar dari pada ENiCrMo-11 dan nilai kekerasan terendah didapat pada spesimen B2 dengan elektroda ENiCrMo-11 dan *heat input* tinggi memperoleh 216,50 kgf/mm<sup>2</sup> pada *weld metal* dan 187,63 kgf/mm<sup>2</sup> pada HAZ. Untuk area *base metal* dari keempat spesimen uji relatif didapatkan nilai yang sama karena tidak adanya perlakuan panas pada area tersebut.
2. Hasil pengujian *microstructure* pada spesimen A1 dengan elektroda ENiCrMo-13 *heat input* rendah dan B1 dengan elektroda ENiCrMo-11 *heat input* rendah pada daerah *weld metal* dan HAZ menghasilkan fasa yang serupa didominasi austenite dan fasa sekunder berupa ferrite, pada *weld metal* menghasilkan *columnar dendrite*, sedangkan spesimen A2 dengan elektroda ENiCrMo-11 *heat input* tinggi dan B2 dengan elektroda ENiCrMo-11 *heat input* tinggi hanya memiliki perbedaan pada daerah *weld metal*, untuk daerah yang lain masih sama seperti spesimen A1 dan B1. Daerah *weld metal* spesimen A2 elektroda ENiCrMo-11 *heat input* tinggi dan B2 elektroda ENiCrMo-11 *heat input* tinggi menghasilkan fasa tambahan yaitu *equi-axed dendrite* yang disebabkan karena peningkatan kuat arus pengelasan atau pemasukan panas pada spesimen tersebut.

## 5. PUSTAKA

- [1] F. H. Dewantoro, “Pengaruh Laju Pengelasan Terhadap Stuktur Mikro dan Kekerasan pada Hastelloy X,” *Researchgate.Net*, no. September 2015, 2023, Available: <https://www.researchgate.net/profile/Fatih>
- [2] G. Dak, N. khanna, and C. Pandey, *Study on narrow gap welding of martensitic grade P92 and austenitic grade AISI 304L SS steel for ultra-supercritical power plant application*, vol. 23, no. 1. Springer London, 2023. doi: 10.1007/s43452-022-00540-3.
- [3] H. International, “HASTELLOY ® G-30 ® alloy,” *Hast. G 30 Alloy*, 2023.
- [4] J. C. Lippold, “Welding metallurgy and weldability,” *Ohio State Univ.*, vol. 10, no. 1, 2020, doi: 10.3390/met10010143.
- [5] J. L. Caron and J. W. Sowards, *Weldability of Nickel-Base Alloys*, vol. 6, no. December 2014. 2014. doi: 10.1016/B978-0-08-096532-1.00615-4.
- [6] M. Gäumann, S. Henry, F. Cléton, J. D. Wagnière, and W. Kurz, “Epitaxial laser metal forming: Analysis of microstructure formation,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 271, no. 1–2, pp. 232–241, 1999, doi: 10.1016/s0921-5093(99)00202-6.
- [7] M. Sabzi and S. M. Dezfuli, “Drastic improvement in mechanical properties and weldability of 316L stainless steel weld joints by using electromagnetic vibration during GTAW process,” *J. Manuf. Process.*, vol. 33, no. April, pp. 74–85, 2018, doi: 10.1016/j.jmapro.2018.05.002.
- [8] Sindo Kou, *Welding Metallurgy*, vol. 4, no. 3. 2002. doi: 10.22486/iwj.v4i3.150243.