

KARAKTERISASI STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIS SAMBUNGAN LAS PIPA BAJA LAS SPIRAL API 5L X-52

Feri Wijanarko¹, Mochammad Noer Ilman²

^{1,2}Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

¹feri.w@mail.ugm.ac.id, ²ilman_noer@ugm.ac.id

ABSTRAK

Teknik pengelasan busur terendam atau *submerged arc welding* (SAW) banyak digunakan dalam pembuatan pipa minyak dan gas. Secara umum, sambungan las busur terdiri atas logam las, daerah terpengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) dan logam induk. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku struktur mikro, kekerasan, ketangguhan impak, kekuatan tarik sambungan las SAW. Pada penelitian ini, pipa spiral dari baja API 5L X-52 dilas dengan las SAW. Parameter las yaitu arus (I), tegangan (E) dan kecepatan las masing-masing sebesar 825 Amper, 35 Volt dan 7,5 mm/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur mikro logam las terdiri dari ferit asikular dan ferit batas butir, daerah HAZ terdiri atas struktur bainit, ferit dan perlit, sedangkan pada logam induk terdiri dari ferit dan perlit. Logam las memiliki nilai kekerasan paling tinggi, kemudian menurun pada bagian HAZ hingga mencapai nilai konstan pada logam induk. Kekuatan tarik logam las lebih tinggi dibandingkan dengan logam induk karena terbentuknya struktur mikro ferit asikular. namun logam las memiliki nilai impak paling rendah dibanding bagian HAZ dan logam induk.

Kata Kunci : pipa API 5L X-52, pengelasan, struktur mikro, kekerasan, kekuatan mekanis

ABSTRACT

Submerged Arc Welding (SAW) is widely used in the manufacture of oil and gas pipelines. In general, a weld joint consists of various regions including weld metal, heat affected zone (HAZ) and base metal. This research is aimed to study microstructure, hardness, impact toughness, tensile strength of submerged arc welded joints. In this research, API 5L X-52 steel pipe was welded spirally using SAW technique. Welding parameters used including current (I), voltage (E) and welding speed were 825 Ampere and 35 Volt and 7,5 mm/s. The results show that microstructure of the weld metal consists of acicular ferrite and grain boundary ferrite. On the other hand, the HAZ region is composed of a mixture of bainite, ferrite and pearlite structures, whilst the base metal consists of ferrite and pearlite. The weld metal has the highest value of hardness, then the hardness continuously decreases in the HAZ until it achieves a constant value in the base metal. The tensile strength of the weld metal is higher than that of the base metal due to its fine grained acicular ferrite but its impact toughness is lower compared to that of HAZ and base metal.

Keywords: API 5L X-52 pipe, welding, microstructure, hardness, mechanical strength

PENDAHULUAN

Sistem perpipaan banyak digunakan dalam industri minyak dan gas untuk mendistribusikan fluida hasil eksplorasi menuju tempat pengolahan hingga tempat penyimpanan. Produk hasil eksplorasi dari perut bumi berupa campuran antara suspended solid, air produksi serta hidrokarbon minyak mentah dan gas alam. Pipa dengan bahan baja karbon banyak

digunakan dalam industri minyak dan gas. Pipa baja karbon dipilih karena pertimbangan sifat mekanisnya yang baik seperti kekuatan dan ketangguhan, sifat mampu las yang baik dan dari segi ekonomi [1]. Pipa baja karbon seri API 5L merupakan jenis pipa yang terbuat dari baja karbon-mangan atau baja *high strength low alloy* (HSLA) yang populer digunakan untuk mengalirkan fluida dalam industri minyak dan gas [2].

API 5L merupakan spesifikasi untuk manufaktur produk *linepipe* untuk pipa tanpa sambungan (*seamless pipe*) dan pipa las (*welded pipe*) yang digunakan untuk transportasi minyak dan gas alam. Pipa tanpa sambungan merupakan pipa tanpa sambungan las yang diproduksi dengan proses *hot forming* yang dapat diikuti dengan *cold sizing* atau *cold finishing* mendapatkan bentuk, dimensi dan sifat yang diinginkan [3]. Pipa las merupakan pipa yang dibuat dengan sambungan las antara lain seperti pipa *continous welded*, *electric welded*, *laser welded* dan *submerged arc welded*.

Pembuatan pipa minyak dan gas menggunakan teknik sambungan las untuk membuat pipa dengan diameter besar. Teknik pengelasan busur terendam (*Submerged Arc Welding*) biasa digunakan dalam proses manufaktur pipa karena berbagai pertimbangan keuntungan. *Submerged Arc Welding* adalah proses pengelasan busur elektroda habis pakai dimana busur dilindungi oleh terak cair dan atmosfer busur dihasilkan oleh dekomposisi konstituen terak tertentu [4].

Sambungan las untuk struktur baja seperti pipa minyak dan gas harus memenuhi 2 syarat yaitu kekuatan tarik tinggi dan ketangguhan impak yang baik [5]. Persyaratan ini bisa dipenuhi jika sambungan las mempunyai struktur mikro berupa ferit asikular berbutir halus yang dapat meningkatkan kekuatan tarik sesuai dengan Persamaan Hall-Petch sedangkan struktur interlocking ferit asikular menyebabkan ketangguhan las meningkat [6].

METODE

Material

Bahan yang digunakan adalah pipa baja las spiral API 5L X-52 yang diproduksi oleh PT KHI Pipeline Industries Cilegon, Banten. Pipa baja las spiral API 5L X-52 memiliki diameter 1400 mm dengan tebal 22 mm yang dirol arah spiral dan dilas dengan menggunakan teknik las busur terendam (*Submerged Arc Welding*). Parameter las

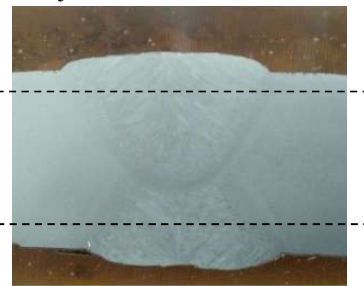
yang digunakan adalah arus (I) = 35 Amper, tegangan (E) = 825 Volt dan kecepatan las (v) = 7,5 mm/s.

Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro las dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Preparasi spesimen dilakukan sesuai standard laboratorium meliputi pemotongan penampang lintang (*cross section* las) dilanjutkan dengan mounting. Prosedur selanjutnya meliputi pengampelasan (*grinding*), polis (*polishing*) dan pengetsaan (*etching*) menggunakan larutan Nital (2 ml HNO_3 dalam 98 ml propanol).

Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan sambungan las pipa API 5L X-52. Pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan Vickers dilakukan sebanyak 100 titik dengan jarak 0,5 mm dengan beban indentasi 200 gram force selama 15 detik. Pengambilan titik uji kekerasan dilakukan pada bagian atas dan bagian bawah penampang las seperti yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Pengambilan titik uji kekerasan pipa API 5L X-52

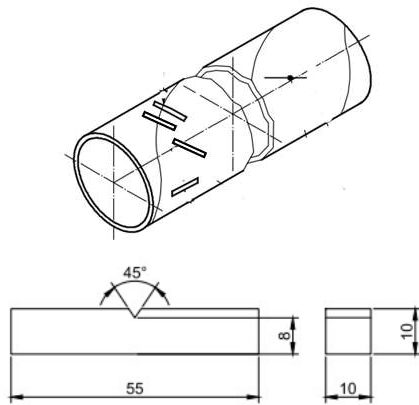
Nilai kekerasan Vickers (HV) dihitung dengan Persamaan:

$$HV = 1,846P/(d^2) \text{ kg/mm}^2 \dots\dots (1)$$

P adalah beban (Kg) dan d adalah diagonal rata-rata indentasi (mm).

Uji Impak

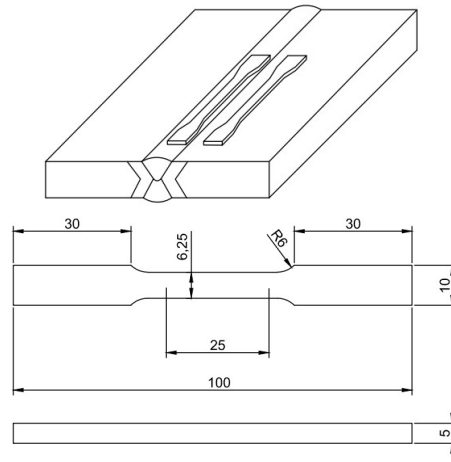
Pengujian impact dilakukan untuk mengetahui ketangguhan impact material sambungan las pipa baja API 5L X-52. Standar spesimen uji tarik yang digunakan mengacu pada ASTM A370 dan pengambilan sampel uji impact dirunjukkan oleh Gambar 2.



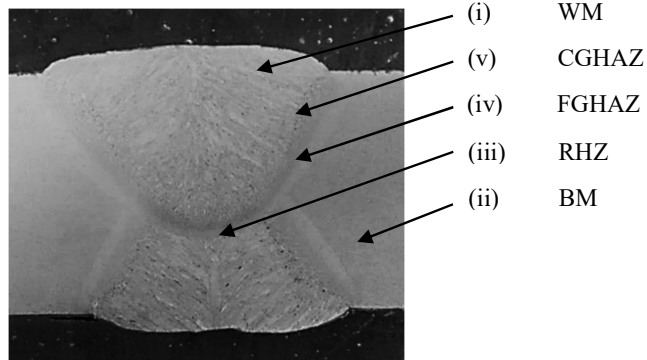
Gambar 2. Pengambilan sampel uji impact pipa API 5L X-52

Uji Tarik

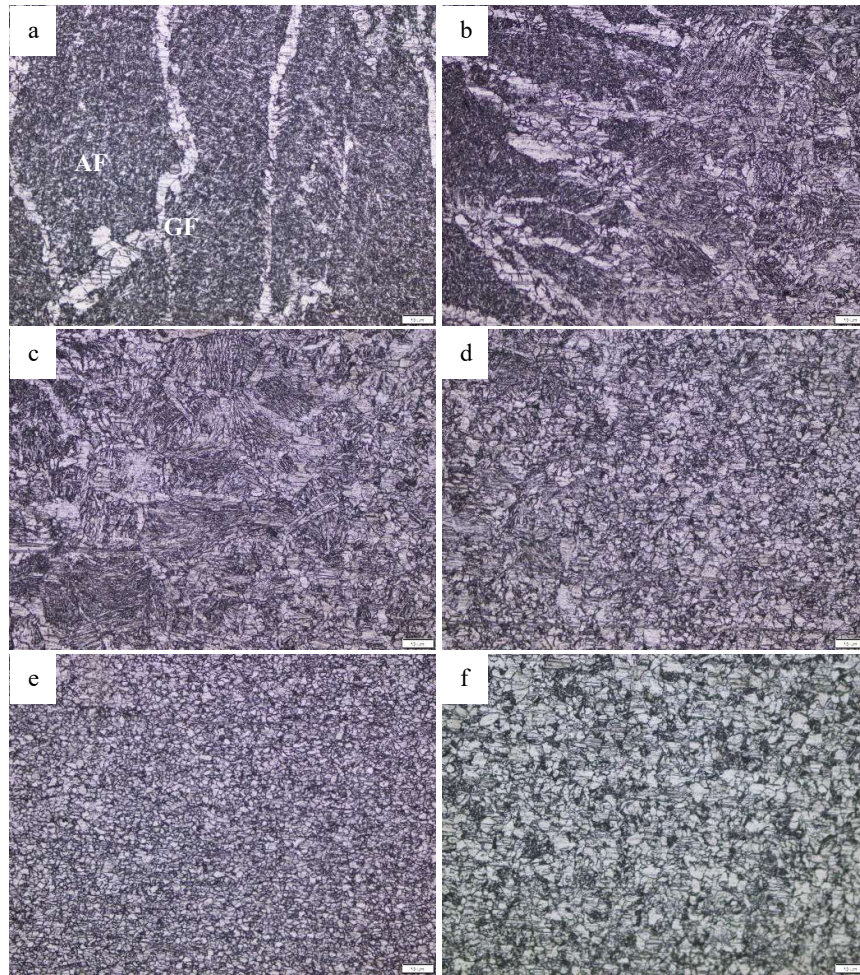
Pengujian tarik dilakukan pada logam induk dan logam las pipa las spiral API 5L X-52. Standar spesimen uji tarik yang digunakan mengacu pada ASTM E-8 dan pengambilan sampel uji tarik diunjukkan oleh Gambar x.



Gambar 3. Pengambilan sampel uji tarik pipa API 5L X-52



Gambar 4. Foto makro sambungan las pipa API 5L X-52



Gambar 5. Struktur mikro. (a) Las, (b) Batas las dan HAZ, (c) HAZ kasar, (d) HAZ halus, (e) Logam induk, dan (f) Daerah pemanasan ulang. Keterangan : AF (*acicular ferrite*) dan GF (*grain boundary ferrite*)

Tabel 1. Komposisi logam induk dan logam las pipa API 5L X-52

Komposisi (%)	C	Mn	P	S	V	Nb	Ti
Logam Induk	0,1039	1,2175	0,0031	0,0000	0,0056	0,0494	0,0022
Logam Las	0,0895	1,3261	0,0032	0,0007	0,0089	0,0327	0,0031
Komposisi (%)	Si	Al	Cr	Cu	Mo	Ni	
Logam Induk	0,2367	0,0505	0,0221	0,0087	0,0018	0,0014	
Logam Las	0,4005	0,0292	0,0233	0,0323	0,0026	0,0068	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Material

Komposisi kimia logam induk dan logam las pipa baja las spiral API 5L X-52 disajikan pada Tabel 1. Baja HSLA mempunyai sifat mudah dibentuk, mudah dilas, ulet dan memiliki kekuatan yang tinggi. Kandungan karbon yang rendah pada baja memberikan sifat kemudahan bentuk dan sifat mampu las yang baik. Penambahan unsur mangan (Mn) sebesar 1,27% pada baja karbon berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, ketangguhan, sifat mampu bentuk dan sifat mampu las [7]. Unsur paduan seperti niobium (Nb), vanadium (V) dan titanium (Ti) memberikan penguatan pada baja karbon dengan membentuk presipitat dan sebagai unsur penghalus ferit (ferrite refiner) melalui proses Thermomechanical Controlled Process (TMCP) [8]. Komposisi logam las pada garis besarnya mendekati logam induk tetapi dengan kadar karbon (C) yang lebih rendah yaitu 0,089% untuk menjaga sifat mampu las (*weldability*) [9].

Struktur Mikro

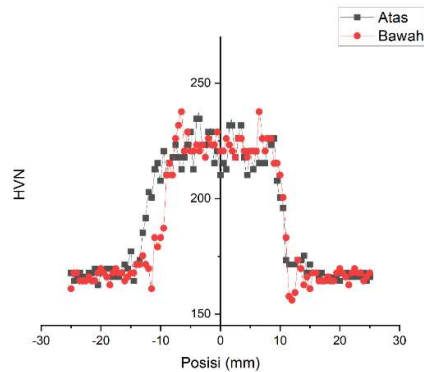
Gambar 4 menunjukkan foto makro sambungan las dari pipa baja karbon API 5L X-52. Terdapat beberapa zona dari sambungan las pipa baja API 5L X-52 yaitu : (i) logam las (WM), (ii) daerah terpengaruh panas butir kasar (*coarse-grain* HAZ/CGHAZ), (iii) daerah terpengaruh panas butir halus (*fine-grain* HAZ/FGHAZ), (iv) daerah pemanasan ulang (*reheated zone*/RHZ) dan (v) logam induk (BM) [10].

Gambar 5a menunjukkan struktur mikro dari logam las yang terdiri atas ferit batas butir (*grain boundary ferrite*) dan ferit asikular (*acicular ferrite*) [11]. Gambar 5b menunjukkan struktur mikro batas antara las dan HAZ. Gambar 5c menunjukkan HAZ butir kasar yang berupa bainit yang terdiri dari lempengan ferit paralel dengan karbida berada di dalam lempeng. Struktur mikro HAZ butir halus ditunjukkan oleh Gambar 5d yang terdiri dari butiran ferit dan perlit. Struktur HAZ butir halus terbentuk ketika

temperatur di daerah tersebut sedikit lebih tinggi dari temperatur kritis namun tidak cukup untuk pertumbuhan butir [12]. Gambar 5e menunjukkan logam induk yang terdiri dari ferit dan perlit yang tidak terpengaruh panas pengelasan. Pengelasan ganda menyebabkan terjadinya daerah penasan ulang oleh las berikutnya yang menghasilkan daerah pemanasan ulang (*reheated zone*/RHZ) seperti yang ditunjukkan Gambar 5f. Struktur mikro RHZ ferit dan perlit dengan butir yang cukup besar.

Kekerasan

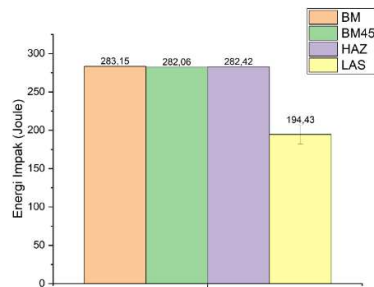
Distribusi nilai kekerasan pada sambungan las pipa baja API 5L X-52 dapat dilihat pada Gambar 6. Terlihat tren nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada logam las kemudian nilai kekerasan cenderung menurun pada daerah HAZ dan nilai kekerasan sedikit naik pada logam induk. Logam las memiliki nilai kekerasan paling tinggi sekitar 225 HN, hal ini terkait kerapatan dislokasi dari ferit asikular pada logam las [4]. Nilai kekerasan daerah HAZ menurun dari sekitar 210 VN sampai sekitar 160 VN. Nilai kekerasan yang tinggi di daerah HAZ terdapat pada HAZ butir kasar, hal ini terkait dengan terbentuknya struktur bainit ketika transformasi [12]. Nilai kekerasan yang rendah di daerah HAZ terdapat pada HAZ butir halus karena ketika rekristalisasi menghasilkan butiran dengan kerapatan dislokasi yang rendah. Logam induk memiliki nilai kekerasan yang sedikit lebih tinggi dari daerah HAZ butir halus dengan nilai kekerasan sekitar 170 VN .



Gambar 6. Distribusi nilai kekerasan sambungan las pipa API 5L X-52

Uji Impak

Gambar 7 menunjukkan hasil pengujian impak logam las, HAZ dan logam induk dengan orientasi 0° dan 45° terhadap arah las. Hasil pengujian impak menunjukkan ketangguhan logam las lebih rendah dibandingkan dengan logam induk dan HAZ [13].

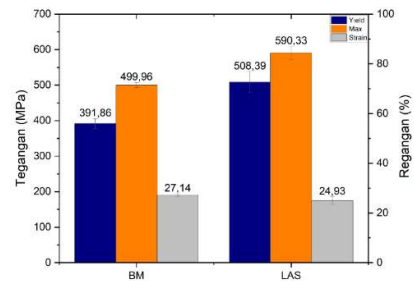


Gambar 7. Nilai impak sambungan las pipa API 5L X-52

Uji Tarik

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian tarik logam induk dan logam las pipa baja API 5L X-52. Kekuatan luluh dan kekuatan maksimal dari logam induk pipa API 5L X-52 masing – masing sebesar 391,87 MPa dan 499,96 MPa. Sementara untuk kekuatan luluh dan kekuatan maksimal dari logam las pipa API 5L X-52 masing – masing sebesar 508,39 MPa dan 590,32 MPa. Standar untuk kekuatan luluh dan kekuatan maksimal dari pipa las API 5L X-52 minimal sebesar 52.200 psi (359,91 MPa)

untuk kekuatan luluh dan 66.700 psi (459,88 MPa) untuk kekuatan maksimal. Kandungan unsur mangan (Mn) yang tinggi dan struktur mikro ferit asikular berpengaruh membuat kekuatan logam las menjadi lebih tinggi [7].



Gambar 9. Kekuatan tarik logam induk dan logam las pipa API 5L X-52

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dijabarkan sebelumnya, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Struktur mikro logam las API 5L X-52 terdiri dari ferit asikular dan ferit batas butir. Daerah HAZ kasar berupa struktur mikro bainit yang terdiri dari lempengan ferit paralel dengan karbida berada di dalam lempeng. Struktur mikro HAZ halus, logam induk dan daerah pemanasan ulang terdiri dari ferit dan sedikit perlit dengan ukuran butir yang berbeda pada masing – masing daerah.
2. Nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada logam las, kemudian sedikit menurun pada daerah HAZ kasar sampai HAZ halus memiliki nilai kekerasan yang paling rendah. Logam induk memiliki nilai kekerasan yang sedikit lebih tinggi dibanding HAZ halus.
3. Hasil pengujian impak logam las memiliki nilai impak yang paling rendah dibandingkan dengan logam induk dan logam HAZ.
4. Logam las memiliki tegangan luluh dan tegangan maksimal lebih tinggi dibandingkan logam induk, sedangkan regangan tarik logam las lebih rendah dibandingkan logam induk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Tristijanto, M. N. Ilman, and P. Tri Iswanto, "Corrosion Inhibition of Welded of X – 52 Steel Pipelines by Sodium Molybdate in 3.5% NaCl Solution," *Egypt. J. Pet.*, vol. 29, no. 2, pp. 155–162, 2020, doi: 10.1016/j.ejpe.2020.02.001.
- [2] D. M. Ortega-Toledo, J. G. Gonzalez-Rodriguez, M. Casales, M. A. Neri-Florez, and A. Martinez-Villafañe, "The CO₂ corrosion inhibition of a high strength pipeline steel by hydroxyethyl imidazoline," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 122, no. 2–3, pp. 485–490, 2010, doi: 10.1016/j.matchemphys.2010.03.031.
- [3] F. Edition, "Line Pipe," no. April, 2018.
- [4] K. Easterling, "Fusion welding – process variables," *Introd. to Phys. Metall. Weld.*, pp. 1–54, 1992, doi: 10.1016/b978-0-7506-0394-2.50006-x.
- [5] M. N. Ilman, R. C. Cochrane, and G. M. Evans, "Effect of titanium and nitrogen on the transformation characteristics of acicular ferrite in reheated C-Mn steel weld metals," *Weld. World*, vol. 58, no. 1, pp. 1–10, 2014, doi: 10.1007/s40194-013-0091-x.
- [6] M. N. Ilman, R. C. Cochrane, and G. M. Evans, "The development of acicular ferrite in reheated Ti–B–Al–N-type steel weld metals containing various levels of aluminium and nitrogen," *Weld. World*, vol. 59, no. 4, pp. 565–575, 2015, doi: 10.1007/s40194-015-0231-6.
- [7] D. J. Abson and R. J. Pargeter, "Factors influencing as-deposited strength, microstructure, and toughness of manual metal arc welds suitable for c-mn steel fabrications," *Int. Met. Rev.*, vol. 31, no. 1, pp. 141–196, 1986, doi: 10.1179/imtr.1986.31.1.141.
- [8] Y. Ha and S. R. Rajesh, "Thermal distortion analysis method for TMCP steel structures using shell element," *Weld. World*, vol. 53, no. SPECIAL ISSUE, pp. 409–414, 2009, doi: 10.2478/ijnaoe-2013-0012.
- [9] U. Diponegoro and S. Agustus, "Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII," pp. 790–805, 2009.
- [10] G. Khalaj and M. J. Khalaj, "Investigating the corrosion of the Heat-Affected Zones (HAZs) of API-X70 pipeline steels in aerated carbonate solution by electrochemical methods," *Int. J. Press. Vessel. Pip.*, vol. 145, pp. 1–12, 2016, doi: 10.1016/j.ijpvp.2016.06.001.
- [11] K. Easterling, "The weld metal," *Introd. to Phys. Metall. Weld.*, pp. 55–125, 1992, doi: 10.1016/b978-0-7506-0394-2.50007-1.
- [12] K. Easterling, "The heat-affected zone," *Introd. to Phys. Metall. Weld.*, vol. 0, pp. 126–190, 1992, doi: 10.1016/b978-0-7506-0394-2.50008-3.
- [13] Tarmizi, "Ketangguhan Material API 5L X60 Terhadap Masukan Panas Pada Proses Pengelasan Elektroda Terbungkus," *J. Ris. Ind.*, vol. 8, no. 1, pp. 43–51, 2014.