ISSN J-MEEG 5 (1) (2026) 532–539

JURNAL TEKNIK MESIN
JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING (J-MEEG)
http://jurnal.polinema.ac.id/index.php/j-meeg

ANALISIS KARAKTER MIKROSTRUKTUR PERMUKAAN DAN *TENSILE* SS304 PADA PENGELASAN SMAW DENGAN ARUS 85 AMPERE

(ANALYSIS OF MICROSTRUCTURE AND TENSILE PROPERTIES OF SS304 UNDER SMAW WELDING AT 85 AMPERE)

Hanif Ridhwanul Majid[(1)], Moch Wisnu Arif Sektiono[(1)], Ahmad Dzulfikri Halimi[(1)], Reonaldo Hartono[(1)] & Setiyo Rojikin[(1)]

[(1)] Teknik Mesin, Kampus PSDKU Politeknik Negeri Malang di Kota Kediri
Jl. Lingkar Maskumambang No.1, Sukorame, Kec. Mojoroto, Kota Kediri, 64119, Indonesia

Email: setiyorojikin@polinema.ac.id

Diterima: 24 Agustus 2025. Disetujui: 30 Mei 2026. Dipublikasikan: 31 Mei 2026

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan struktur kristal pada permukaan logam Stainless Steel 304 (SS304) hasil pengelasan dengan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) menggunakan arus 85 Ampere. Material SS304 dengan ketebalan 6 mm dilas menggunakan elektroda Nikko Steel NSN-308 berdiameter 2,6 mm. Spesimen uji tarik dibuat sesuai standar ASTM E8 dengan desain kampuh las single V (sudut 60°, gap 2 mm). Pengujian tarik menunjukkan nilai rata-rata *Ultimate Tensile Strength* (UTS) sebesar 589,35 MPa, dan Yield Strength (YS) 354,48 MPa. Analisis metalografi menggunakan mikroskop optik mengidentifikasi tiga zona berbeda: *Base Metal Zone* (BMZ) dengan struktur butiran *γ-austenite* dan *δ-ferrite* berbentuk poligonal yang seragam, *Heat Affected Zone* (HAZ) dengan pembesaran butir kristal (*grain growth*), serta *weld metal Zone (WMZ*) dengan bentuk dendritik akibat pendinginan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pengelasan SMAW dengan arus 85 Ampere menyebabkan perubahan struktur mikro yang signifikan, dimana kestabilan bentuk kristal *γ-austenite* dan perubahan ukuran serta bentuk butiran menjadi faktor utama yang mempengaruhi sifat mekanik material.

Kata Kunci: Fase kristal, Mikrostruktur, SMAW, *Stainless Steel* 304, *Tensile Strength*

ABSTRACT

This study aims to analyze the crystal structure changes on Stainless Steel 304 (SS304) metal surface welded using Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method at 85 Ampere current. SS304 material with specific thickness was welded using Nikko Steel NSN-308 electrode with 2.6 mm diameter. Tensile test specimens were prepared according to ASTM E8 standard with single V groove joint design (60° angle, 2 mm gap). Tensile testing results showed average Ultimate Tensile Strength (UTS) of 589.35 MPa, and Yield Strength (YS) of 354.48 MPa. Metallographic analysis using optical microscope identified three distinct zones: base metal with uniform polygonal δ-ferrite and γ-austenitee grain structure, Heat Affected Zone (HAZ) with grain enlargement and partial recrystallization, and weld metal with dendritic structure due to cooling. process. The research results indicate that SMAW welding process at 85 Ampere causes significant microstructural changes, where γ-

austenitee crystal structure stability and grain size and shape variations become the main factors affecting material mechanical properties.

Keywords: Crystals Phase, Microstructure, *SMAW*, *Stainless Steel* 304, *Tensile Strength*

PENDAHULUAN

Penggunaan baja tahan karat (*stainless steel,* SS) di pabrik industri terkait erat dengan proses pengelasan. Secara khusus, penggunaan baja tahan karat SS AISI 304, digunakan di berbagai sektor, termasuk pengolahan makanan, pabrik susu, arsitektur, kimia, transportasi kereta api, transportasi, kedirgantaraan, pembangkit listrik tenaga nuklir, bejana tekan, kriogenik, pabrik petrokimia, dan perpipaan. Hal ini dikarenakan sifat-sifatnya yang luar biasa seperti kekuatan, non-magnetisme, dan konduktivitas termal dan listrik yang lebih rendah dibandingkan dengan baja karbon lainnya [1][2]. Proses pengelasan baja SS 304 menggabungkan material logam, baik yang sejenis maupun menggunakan logam yang berbeda, menggunakan energi panas, sehingga memengaruhi sifat mekanik, struktur metalurgi, deformasi, dan tegangan termal yang sesui dengan kebutuhan industri. Berbagai masalah muncul selama pengelasan, yang disebabkan oleh perubahan mikrostruktur pada sambungan las, yang menyebabkan variasi tegangan di dalam material. Fenomena ini mengakibatkan penurunan kekuatan material karena tegangan sisa dan memicu keretakan akibat karakter fase kristal yang terbentuk selama pengelasan [2][3].

Salah satu teknik pengelasan SS 304 yang masih banyak digunakan dalam berbagai skala industri adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), atau pengelasan busur listrik dengan elektroda terbungkus, karena kemudahan operasional dan fleksibilitas [4].

Selama proses SMAW, terutama pada arus pengelasan tertentu, terjadi proses pendinginan yang tidak seragam yang dapat memicu perubahan fase kristal pada daerah las (*weld metal zone,* WMZ), daerah terpengaruh panas (*heat affected zone*, HAZ), dan bahkan permukaan logam dasar (*base metal zone,* BMZ). Transformasi ini mencakup perubahan struktur *γ-austenite*, ferit delta, atau fasa-fasa sekunder seperti karbida krom atau senyawa intermetalik, yang sangat bergantung pada parameter pengelasan seperti arus, polaritas, dan jenis elektroda [3]. Struktur kristal pada permukaan SS 3034 hasil pengelasan berperan penting dalam menentukan perilaku mekanik material, khususnya dalam menghadapi beban tarik. Baja SS 304 memiliki kekuatan tarik minimum 515 MPa dan kekerasan maksimum 201 Brinell (HB) [5]. Permukaan SS304 merupakan area yang paling rentan terhadap inisiasi keretakan karena merupakan zona pertama yang mengalami kontak langsung dengan lingkungan serta menerima efek termal dan mekanik dari proses pengelasan.

AISI 304 dinyatakan sebagai baja tahan karat 1.4301 dan baja tahan karat 18/8 yang mana secara kimia memiliki mengandung

18% kromium (Cr) dan 8% nikel (Ni) [3] [6]. Baja SS 304 memiliki kandungan karbon yang sangat rendah, yaitu sekitar 0 – 0,07%, yang berarti tidak terbentuk endapan karbon selama pengelasan, sehingga logam SS 304 merupakan material yang mudah dilas (*weldable metal*).

Pada riset ini, dilakukan pengelasan pada logam SS 304 dengan arus 85 Ampere (A), sebagai arus yang dialirkan dari elektroda untuk menghasilkan area sambungan las (*weld joint*). Penggunaan arus 85 A (elektroda Ø2,6 mm (Nikko Steel NSN-308)) digunakan untuk mengetahui apakah cenderung menghasilkan penetrasi dangkal dan kemungkinan cacat fusi. Hal ini akan memberikan hubungan dengan kondisi hasil pengelasan berupa hasil foto *surface structure* pada permukaan seperti *undercut*, *porosity*, dan distribusi fase kristal.

MATERIAL DAN METODOLOGI

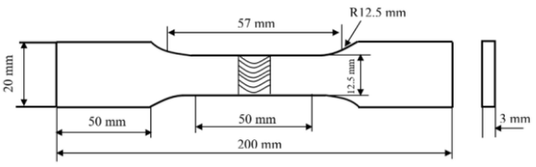
Persiapan Material dan Pengelasan SMAW

Penelitian ini menggunakan material utama berupa pelat *Stainless Steel* 304 (SS304), yang merupakan baja tahan karat *γ-austenite*ik. Sebagai bahan tambah dalam proses pengelasan, digunakan elektroda jenis Nikko Steel NSN-308 berdiameter 2,6 mm, yang dirancang khusus untuk pengelasan stainless steel *γ-austenite*ik.

Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan spesifikasi teknis sebagai berikut: tegangan operasi 220–240 Volt, daya output 450 Watt, dan frekuensi kerja 50–60 Hz. Mesin ini mendukung penggunaan elektroda stainless steel dengan diameter 1,6–3,2 mm serta menggunakan sistem penyalaan manual (*hand-strike*). Mesin dilengkapi dengan isolasi kelas II (*double insulation*) untuk menjamin keselamatan operator selama pengelasan.

Spesimen Pengujian Tarik

Pembentukan spesimen uji tarik hasil pengelasan SS 304 dibuat pengulangan spesimen 1, 2, dan 3, berdasarkan standar ASTM E8 [7]. Material SS304 dibentuk menjadi profil dogbone dan dipersiapkan dengan desain kampuh las single V dengan sudut kemiringan 60°, jarak antar sambungan 2 mm, serta jarak dari permukaan ke dasar kampuh sebesar 3 mm, untuk memastikan keseragaman geometri pengelasan.



Gambar 1. Dogbone Pengujian Tarik ASTM E8 [7]

Hasil pengelasan logam SS 304, spesimen yang telah dilas kemudian diuji tarik menggunakan mesin uji tarik universal. Sampel dijepit pada grip mesin, lalu diberikan beban secara bertahap hingga mengalami kegagalan (putus). Selama pengujian, data gaya tarik dan perpanjangan direkam secara real-time. Data ini dianalisis lebih lanjut untuk menentukan sifat mekanik material, khususnya kekuatan tarik maksimum dan elongasi spesimen, yang kemudian dikorelasikan dengan perubahan struktur kristal yang terjadi akibat pengaruh arus pengelasan.

Pengujian Mikrostruktur pada Permukaan Spesimen

Pengujian mikrostruktur dilakukan untuk mengamati dan menganalisis distribusi fasa kristal yang terbentuk pada daerah WMZ, HAZ, dan BMZ di permukaan logam SS304 akibat proses pengelasan menggunakan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan arus 85 Ampere. Fokus utama pengamatan adalah morfologi mikro dan transformasi fasa yang terjadi akibat input panas selama pengelasan.

Sampel diambil dari penampang melintang pada area logam las, mencakup tiga zona utama: WMZ, HAZ, dan BMZ. Preparasi spesimen dilakukan melalui metode metalografi optic [2][3], dimulai dari proses pemotongan menggunakan pemotong presisi, dilanjutkan dengan pengamplasan bertahap menggunakan kertas silikon karbida dari grit 240 hingga 1200, serta pemolesan menggunakan kain pemoles dan larutan alumina hingga permukaan halus dan bebas goresan. Setelah itu, spesimen diberi perlakuan etsa menggunakan larutan glyceregia (campuran HCl, HNO_3, dan gliserol) dan $FeCl_3$ yang sesuai untuk baja tahan karat *austenite*, dengan tujuan menonjolkan batas butir dan struktur fasa pada permukaan logam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian tarik specimen SS304 untuk mengukur sifat *tensile* logam SS304 dengan memberikan beban berupa gaya tarik yang bergerak dalam arah yang berlawanan. Semua spesimen uji tarik mengalami patahan di area HAZ dan BMZ. Spesimen uji tarik ditunjukkan pada Gambar 2, dan sifat tariknya ditunjukkan pada Tabel 1. Spesimen uji tarik yang patah pada Gambar 2 menunjukkan deformasi plastis yang signifikan di area pengukuran sebelum patahan di area WMZ, yang menunjukkan deformasi seragam yang sangat baik sebelum terjadinya penyempitan necking pada spesimen.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

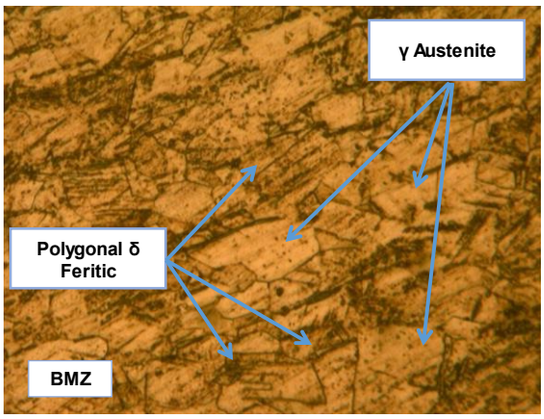
Arus Listrik	Spesimen ke-	Ultimate Tensile Strength	Yield Strength
(A)		(MPa)	(MPa)
85	1	595,56	348,14
	2	585,57	346,61
	3	586.93	368,70
Rerata		589,35	354,48

Gambar 2. Bentuk Patahan Hasil Pengujian Tarik SS 304 untuk tiga specimen pada 85 A SMAW

Dari hasil pengujian tarik yang dilakukan dengan persambungan *Shield*

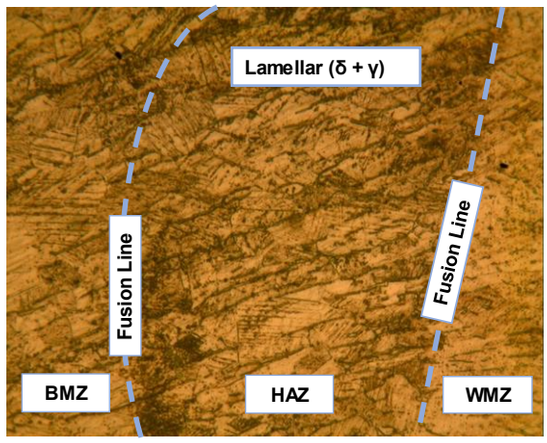
Metal Arc Welding pada logam SS 304 mampu menahan beban tarik dengan kekuatan 589,35 MPa dan memiliki ketahanan deformasi plastis (*Yield Strength*) 354,48 MPa.

Pada penelitian ini data dari foto micro yang dilakukan pada spesimen SS 304 dengan metode persambungan *Shield Metal Arc Welding* 85 Ampere di area *base metal zone* (BMZ), *heat affected zone* (HAZ) dan *weld metal zone* (WMZ).



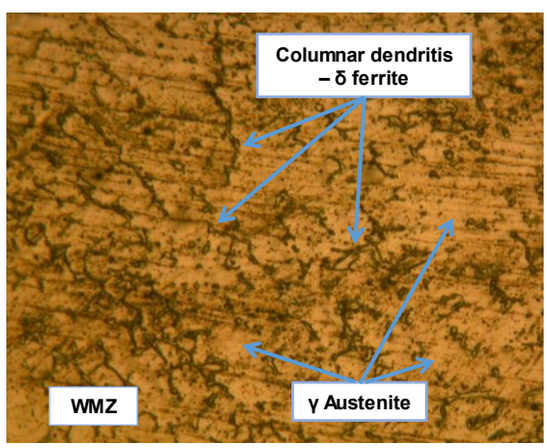
Gambar 3. Mikrostruktur Base Metal SS304

Pengamatan foto mikro area *base metal zone* (BMZ), dimana terlihat fasa *γ-austenite* dengan area terang yang relatif seragam. Struktur mikro yang homogen ini mendukung konsistensi nilai UTS dan YS pada setiap spesimen, sedangkan indikasi pertumbuhan butir akibat pengaruh panas berkontribusi terhadap penurunan kekakuan material. Dengan demikian, hubungan antara data mekanis dan hasil metalografi menunjukkan bahwa sifat tarik SS304 sangat dipengaruhi oleh kondisi mikrostrukturnya, khususnya kestabilan fasa *γ-austenite* dan perubahan ukuran butir akibat masukan panas selama proses pengelasan. Selain fasa *γ-austenite*, terdapat fase δ-ferrite dengan butir berbentuk polygonal.



Gambar 4. Mikrostruktur area transisi BMZ, HAZ dan WMZ pada logam 304 dengan penyambungan SMAW arus 85 A

Hasil pengamatan metalografi pada area *Heat Affected Zone* (HAZ) memperlihatkan adanya perubahan ukuran dan orientasi butir *γ-austenite* dibandingkan dengan BMZ yang cenderung lebih homogen. Pertumbuhan butir dan terbentuknya pola *slip band* yang tidak beraturan menunjukkan bahwa HAZ mengalami siklus termal yang mengakibatkan rekristalisasi parsial, yang ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 5. Mikrostruktur *Weld Metal*

Pada Gambar 5 hasil pengamatan metalografi pada area WMZ memperlihatkan morfologi dendritik dari

hasil solidifikasi yang terbentuk akibat pendinginan.

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa pengelasan SMAW dengan arus 85 Ampere pada material SS304 menghasilkan nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) rata-rata sebesar 589,35 MPa dan *Yield Strength* (YS) sebesar 354,48 MPa yang masih berada dalam rentang standar stainless steel 304 (515 – 620 MPa), mengindikasikan bahwa parameter pengelasan ini tidak menyebabkan degradasi signifikan terhadap kekuatan tarik material.

Pengamatan metalografi mengungkapkan terbentuknya tiga zona berbeda dengan karakteristik mikrostruktur yang unik. Baja kelas SS-304 adalah baja austenitik yang unsur paduan utamanya, selain besi (Fe), adalah kromium (Cr) dan nikel (Ni). Bergantung pada proses pembekuan (*solidification*), logam SS 304 sebagian besar terdiri dari austenite (FCC) dan ferrite (BCC), yang umumnya dapat mengandung 2–10% δ-ferit [8]. Jika pembekuan terjadi secara kesetimbangan termal, hasil akhir logam menghasilkan mikrostruktur yang sebagian besar terdiri dari *γ-austenite*. Pada pembekuan tidak seimbang, misalnya, dengan fluktuasi laju pendinginan atau pendinginan cepat, transformasi *δ-feritte* menjadi *γ-austenite* terjadi sepenuhnya [9].

BMZ mempertahankan struktur homogen dari fase *γ-austenite* dan fase *polygonal δ-feritte* yang berkontribusi terhadap konsistensi sifat mekanik. Sementara, *Heat Affected Zone* (HAZ) mengalami pertumbuhan butir dan rekristalisasi parsial akibat pemanasan yang menyebabkan penurunan efektivitas *grain boundary strengthening*. Area HAZ di mana batas antara area BMZ dan area WMZ yang ditandai dengan jelas oleh garis biru sebagai *fusion line*, menunjukkan mikrostruktur transisi yang sama sekali berbeda dari BM dan WZ. Terlepas dari strukturnya yang kasar, halus, dan ekuaksial, zona ini mengandung sebagian struktur *lamellar* (δ + γ) yang lebih halus dari BMZ karena terpapar panas dan sebagian struktur dendritik.

Kekuatan tarik baja tahan karat SS 304 bergantung pada evaluasi mikrostruktur dan proses pembekuan (*solidification*) logam las [3][10]. *Solidification* setelah pengelasan SS304 menyebabkan terbentuknya dendrit. Struktur dendritik dan interdendritik di area WMZ pada material las SS304 dijelaskan oleh keberadaan unsur-unsur Cr dan Ni yang lebih dominan (*rich Cr*, *rich Ni*) di WMZ, yang bertanggung jawab atas pembentukan fase dendritik [3]. Pengaruh panas pengelasan (WMZ) menyebabkan pembentukan dendrit dan struktur interdendritik pada hasil lasan [2]. Struktur butiran dendritik kolumnar (*columnar dendritic*) dapat diamati dengan jelas pada area WMZ. Orientasi butiran dendritik yang memanjang mencerminkan gradien suhu selama *solidification*. Segregasi kimia dalam kolam las (*weld pool*), nukleasi non-spontan, dan proses pengelasan busur menghasilkan ukuran butiran kolumnar yang relatif kecil [11]. Fase *γ-austenite* beserta segregasi unsur paduan pada interdendritik berkontribusi terhadap ketahanan tarik yang tinggi, namun pada

saat yang sama menurunkan kekakuan material akibat distribusi tegangan yang kurang seragam. Kondisi ini sejalan dengan hasil uji tarik yang menunjukkan nilai UTS dan YS yang tetap konsisten.

KESIMPULAN

Pengelasan SMAW 85 A pada persambungan Logam SS304 menghasilkan perubahan mikrostruktur di masing-masing zona. *Base metal zone* (BMZ) lebih didominasi oleh fase butir *γ- austenite* dan *δ- ferrite*. Pada ares HAZ didominasi butir struktur *lamellar* (δ + γ), sementara *weld metal zone* (WMZ) terbentuk struktur dendritik hasil solidifikasi mempertahankan kekuatan tarik. Hubungan ini menegaskan bahwa kestabilan fasa austenit dan karakteristik morfologi butir menjadi faktor utama yang menentukan sifat tarik SS304 setelah proses pengelasan, yang mana nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) rata-rata sebesar 589,35 MPa dan *Yield Strength* (YS) sebesar 354,48 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. H. Baek, Y. P. Kim, W. S. Kim, and Y. T. Kho, "Fracture toughness and fatigue crack growth properties of the base metal and weld metal of a type 304 stainless steel pipeline for LNG transmission," *Int. J. Press. Vessel. Pip.*, vol. 78, no. 5, pp. 351–357, May 2001, doi: 10.1016/S0308-0161(01)00040-0.

[2] J. Singh and A. S. Shahi, "Weld joint design and thermal aging influence on the metallurgical, sensitization and pitting corrosion behavior of AISI 304L stainless steel welds," *J. Manuf. Process.*, vol. 33, pp. 126–135, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.jmapro.2018.05.004.

[3] J. G. Roy, N. Yuvaraj, and Vipin, "Effect of Welding Parameters on Mechanical Properties of Cold Metal Transfer Welded Thin AISI 304 Stainless-Steel Sheets," *Trans. Indian Inst. Met.*, vol. 74, no. 9, pp. 2397–2408, Sep. 2021, doi: 10.1007/s12666-021-02326-2.

[4] A. Klopotov *et al.*, "Effect of Deformation-Induced Martensitic Transformations in a SMAW Butt Joint of the 304 Stainless Steel on its Strain Field Distributions," *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 53, no. 3, pp. 942–961, Mar. 2022, doi: 10.1007/s11661-021-06566-1.

[5] A. Anand, "Stainless Steel Grade Datasheets Atlas Steels Technical Department Stainless Steel Grade Datasheets," *Atlas Steels Tech. Dep.*, no. Grade Data Sheet 440C, p. 2 of 2, 2013.

[6] A. Pandey and R. Shringi, "Ranking Welding Processes for SS 304 to Maximize the Ultimate Tensile Joint Strength using AHP: A Benchmarking Study," *J. Inst. Eng. Ser. C*, vol. 102, no. 5, pp. 1273–1283, Oct. 2021, doi: 10.1007/s40032-021-00726-3.

[7] ASTM E8/E8M, "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials," Jul. 01, 2010, *ASTM International, West Conshohocken, PA*. doi: 10.1520/E0008_E0008M-13A.

[8] S. Dewangan, S. Saksham, A. Chandra Paul, and J. Burja, "A Comparative Analysis among Quenched, Tempered, and Stepped Cooled TIG Welded SS-304 Plates Based on Tensile Strength, Hardness, and Microstructural Appearance," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2023, pp. 1–14, Apr. 2023, doi: 10.1155/2023/5523162.

[9] J. Yan, M. Gao, and X. Zeng, "Study on microstructure and mechanical properties of 304 stainless steel joints by TIG, laser and laser-TIG hybrid welding," *Opt. Lasers Eng.*, vol. 48, no. 4, pp. 512–517, Apr. 2010, doi: 10.1016/j.optlaseng.2009.08.009.

[10] G. Dak and C. Pandey, "A critical review on dissimilar welds joint between martensitic and austenitic steel for power plant application," *J. Manuf. Process.*, vol. 58, pp. 377–406, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.08.019.

[11] P. V. S. S. Sridhar, P. Biswas, and P. Mahanta, “Effect of process parameters on bead geometry, tensile and microstructural properties of double-sided butt submerged arc welding of SS 304 austenitic stainless steel,” *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 42, no. 10, p. 551, Oct. 2020, doi: 10.1007/s40430-020-02636-4.