

MANUFAKTUR TANGKI GAS HIDROGEN TIPE I BERBAHAN BAJA KARBON *SCHEDULE 160*

***Daniel Alexander Graciado Siregar¹, Sulistyo Sulistyo², Mohammad Tauviqirrahman²**

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: siregard255@gmail.com

Abstrak

Hidrogen merupakan salah satu sumber energi alternatif yang berpotensi mendukung transisi menuju sistem energi berkelanjutan. Pemanfaatannya memerlukan sistem penyimpanan yang mampu menahan tekanan tinggi dengan tingkat keamanan yang memadai. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi tangki gas hidrogen tipe I menggunakan baja karbon ASTM A106 Grade A Schedule 160 serta mengevaluasi penerapan proses manufaktur yang digunakan. Perancangan tangki dilakukan berdasarkan ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section VIII dengan konfigurasi badan silinder dan dua buah dome elipsoidal. Material ASTM A106 Grade A Schedule 160 dipilih karena memiliki kekuatan mekanik yang memadai, kemampuan las yang baik, serta ketebalan dinding yang sesuai untuk aplikasi bejana bertekanan. Proses manufaktur meliputi pembuatan badan silinder, *dome*, dan *nozzle*. *Dome* dan *nozzle* diproduksi menggunakan metode *turning* karena mampu menghasilkan geometri yang sesuai dengan desain dan memiliki ketelitian dimensi yang baik. Selanjutnya, seluruh komponen dirakit melalui proses *fit-up* dan disambung menggunakan metode *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) sesuai *Welding Procedure Specification* (WPS) yang mengacu pada ASME Section IX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses manufaktur berhasil menghasilkan komponen tangki sesuai dengan geometri rancangan. Metode *turning* mampu menghasilkan *dome* elipsoidal dan *nozzle* dengan dimensi yang sesuai, sedangkan proses GTAW berhasil menyatukan seluruh komponen menjadi satu kesatuan tangki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi material ASTM A106 Grade A Schedule 160, metode *turning*, dan proses GTAW dapat diterapkan secara efektif dalam manufaktur tangki gas hidrogen tipe I untuk aplikasi penyimpanan gas bertekanan tinggi.

Kata kunci: *astm a106 grade a; gtaw; manufaktur; tangki gas hidrogen tipe i; turning*

Abstract

Hydrogen is one of the most promising alternative energy sources for supporting the transition toward a sustainable energy system. Its utilization requires a storage system capable of withstanding high pressure while maintaining adequate safety. This study aims to manufacture a Type I hydrogen gas storage tank using ASTM A106 Grade A Schedule 160 carbon steel and to evaluate the applied manufacturing process. The tank was designed based on the ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section VIII with a cylindrical body and two elliptical domes. ASTM A106 Grade A Schedule 160 was selected due to its adequate mechanical properties, good weldability, and wall thickness suitable for pressure vessel applications. The manufacturing process consisted of producing the cylindrical body, domes, and nozzles. The domes and nozzles were fabricated using a turning process because it can achieve the required geometry with good dimensional accuracy. Subsequently, all components were assembled through a fit-up process and joined using Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) in accordance with a Welding Procedure Specification (WPS) based on ASME Section IX. The results show that the manufacturing process successfully produced tank components that met the intended design geometry. The turning process was capable of producing elliptical domes and nozzles with satisfactory dimensional conformity, while the GTAW process successfully joined all components into an integrated tank structure. These findings indicate that the combination of ASTM A106 Grade A Schedule 160 carbon steel, turning process, and GTAW can be effectively applied in the manufacturing of Type I hydrogen gas storage tanks for high-pressure storage applications.

Keywords: *astm a106 grade a; gtaw; manufacturing; turning; type i hydrogen gas tank*

1. Pendahuluan

Hidrogen merupakan salah satu sumber energi alternatif yang berpotensi mendukung transisi menuju energi bersih karena memiliki densitas energi yang tinggi dan tidak menghasilkan emisi karbon pada saat digunakan. Pemanfaatan

hidrogen terus berkembang pada berbagai sektor, seperti *fuel cell*, transportasi, dan sistem penyimpanan energi [1]. Salah satu aspek penting dalam implementasi teknologi hidrogen adalah penyediaan sistem penyimpanan yang mampu menahan tekanan tinggi secara aman dan andal [2]. Tangki penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi diklasifikasikan menjadi empat tipe, yaitu tipe I, tipe II, tipe III, dan tipe IV. Di antara keempat tipe tersebut, tangki tipe I masih banyak digunakan karena seluruh strukturnya terbuat dari logam sehingga memiliki proses fabrikasi yang relatif sederhana, biaya produksi yang lebih rendah, serta kemudahan dalam perawatan dibandingkan tangki berbasis material komposit [3]. Dalam manufaktur tangki hidrogen tipe I, pemilihan material dan metode fabrikasi menjadi faktor yang sangat penting karena berpengaruh terhadap kemampuan tangki dalam menahan tekanan internal serta kemudahan proses produksi [4]. Baja karbon masih banyak digunakan pada aplikasi bejana tekan karena memiliki sifat mekanik yang baik, kemampuan las yang tinggi, mudah diproses melalui permesinan, serta lebih ekonomis dibandingkan material paduan maupun komposit [4]. Salah satu material yang berpotensi digunakan adalah ASTM A106 Grade A Schedule 160 yang memiliki ketebalan dinding lebih besar sehingga sesuai untuk aplikasi penyimpanan gas bertekanan tinggi. Selain material, pemilihan metode manufaktur juga perlu diperhatikan agar geometri komponen dapat diproduksi sesuai rancangan dengan proses yang efisien [5]. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan manufaktur tangki gas hidrogen tipe I menggunakan material ASTM A106 Grade A Schedule 160 melalui proses pembubutan (*turning*) dan pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW). Penelitian difokuskan pada pemilihan material, proses fabrikasi komponen, serta penyambungan tangki hingga diperoleh produk akhir yang sesuai dengan desain dan kebutuhan aplikasi penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk memproduksi tangki gas hidrogen tipe I menggunakan material baja karbon ASTM A106 Grade A Schedule 160. Material tersebut dipilih karena memiliki ketebalan dinding yang relatif besar sehingga sesuai untuk aplikasi penyimpanan gas bertekanan tinggi. Selain itu, berdasarkan spesifikasi ASTM A106, material ini memiliki kekuatan luluh (*yield strength*) minimum sebesar 205 MPa dan kekuatan tarik (*tensile strength*) minimum sebesar 330 MPa sehingga dinilai memadai untuk menahan beban akibat tekanan internal pada tangki [6]. Tahapan penelitian meliputi perancangan geometri tangki, pembuatan komponen utama, proses perakitan (*fit-up*), dan penyambungan menggunakan metode *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) sesuai *Welding Procedure Specification* (WPS) yang mengacu pada ASME Section IX hingga diperoleh produk akhir berupa tangki gas hidrogen tipe I.

2.1 Material dan Peralatan

Material utama yang digunakan sebagai badan silinder tangki adalah pipa baja karbon ASTM A106 Grade A Schedule 160 dengan diameter luar 60 mm, diameter dalam 43 mm, dan panjang 400 mm. Material ini dipilih karena memiliki kombinasi sifat mekanik, kemampuan fabrikasi, dan ketersediaan yang baik untuk aplikasi bejana tekan. Berdasarkan spesifikasi ASTM A106, material ini memiliki *yield strength* minimum sebesar 205 MPa dan kekuatan tarik minimum sebesar 330 MPa sehingga mampu menahan tegangan yang timbul akibat tekanan internal pada tangki [7]. Selain itu, ASTM A106 Grade A memiliki *weldability* yang baik sehingga sesuai untuk proses penyambungan menggunakan metode GTAW. Pemilihan Schedule 160 didasarkan pada ketebalan dinding yang lebih besar dibandingkan Schedule 40 atau 80 pada diameter nominal yang sama. Ketebalan yang lebih besar memberikan kemampuan yang lebih baik dalam menahan *hoop stress* akibat tekanan internal, sehingga meningkatkan faktor keamanan tangki untuk aplikasi penyimpanan gas bertekanan tinggi. Selain itu, penggunaan pipa Schedule 160 memungkinkan proses manufaktur dilakukan tanpa penguatan tambahan pada badan silinder sehingga konstruksi tangki menjadi lebih sederhana dan mudah difabrikasi.

Komponen *dome* dan *nozzle* dibuat dari baja ST 60 berbentuk silinder pejal yang dibentuk melalui proses pembubutan hingga diperoleh geometri sesuai desain. Material ST 60 dipilih karena memiliki kekuatan mekanik yang memadai, kemudahan dalam proses permesinan, serta karakteristik metalurgi yang kompatibel dengan baja karbon ASTM A106 Grade A. Kesamaan karakteristik material tersebut mendukung proses pengelasan dan membantu meminimalkan potensi perbedaan sifat mekanik maupun ketidakcocokan pada daerah sambungan las. Selain itu, penggunaan material pejal ST 60 memudahkan proses pembentukan elliptical dome dan nozzle melalui pembubutan dengan akurasi dimensi yang baik. Material utama ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



(a)

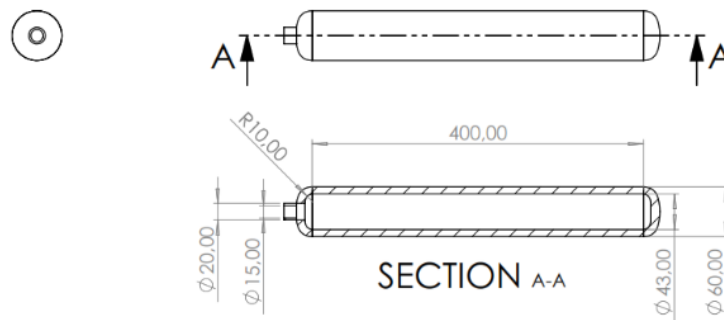


(b)

Gambar 1.(a) Pipa ASTM A106 Schedule 160, (b) AS ST 60

2.2 Desain Tangki Gas Hidrogen Tipe I

Desain tangki gas hidrogen tipe I dilakukan berdasarkan ketentuan ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section VIII Div. 1 untuk bejana tekan. Tangki dirancang dengan tekanan desain sebesar 35 MPa (350 bar) dan terdiri atas badan silinder, dua buah *elliptical dome*, serta *nozzle* sebagai jalur masuk dan keluar fluida. Geometri tersebut dipilih untuk memperoleh distribusi tegangan yang lebih merata pada saat tangki menerima tekanan internal. Bentuk silinder dipilih karena merupakan konfigurasi yang umum digunakan pada bejana tekan akibat kemampuannya dalam menahan tekanan internal secara efisien. Sementara itu, penggunaan *elliptical dome* pada kedua ujung tangki bertujuan untuk mengurangi konsentrasi tegangan yang umumnya terjadi pada sambungan antara badan silinder dan penutup tangki. Dibandingkan penutup datar (*flat head*), *elliptical dome* mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata sehingga meningkatkan integritas struktural tangki pada kondisi tekanan tinggi [8]. Dimensi tangki ditentukan berdasarkan ukuran material yang tersedia dan kebutuhan kapasitas penyimpanan yang direncanakan. Hasil perancangan kemudian dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi (3D) sebagai acuan pada proses manufaktur, pembuatan komponen, perakitan, dan pengelasan. Desain tangki gas hidrogen tipe I yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Layout Tangki

2.3 Proses Manufaktur Tangki

Proses manufaktur *dome* dan *nozzle* dilakukan menggunakan metode pembubutan (*turning process*). Metode ini dipilih karena mampu menghasilkan geometri yang presisi dengan toleransi dimensi yang baik serta kualitas permukaan yang relatif halus [9]. Selain itu, *turning* tidak memerlukan cetakan (*die*) maupun peralatan pembentukan khusus sebagaimana pada proses *spinning* atau *deep drawing*, sehingga lebih sesuai untuk pembuatan prototipe dan manufaktur skala laboratorium. Penggunaan material ST 60 berbentuk silinder pejal juga memungkinkan proses pembentukan *elliptical dome* dilakukan secara langsung melalui pembubutan hingga diperoleh profil yang sesuai dengan desain. Proses pembubutan dilakukan hingga menghasilkan dua buah *elliptical dome* dan *nozzle* sesuai dimensi rancangan. Pada *nozzle*, proses pembubutan juga digunakan untuk membentuk ulir standar *National Pipe Thread* (NPT) yang berfungsi sebagai jalur pemasangan katup dan sistem pengujian [10]. Setelah seluruh komponen selesai diproduksi, dilakukan proses *fit-up* untuk memastikan kesesuaian dimensi dan posisi antar komponen sebelum dilakukan proses pengelasan.

2.4 Proses Pengelasan Tangki

Proses penyambungan komponen tangki dilakukan menggunakan metode *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) sesuai *Welding Procedure Specification* (WPS) yang mengacu pada ASME Section IX [11]. Metode GTAW dipilih karena mampu menghasilkan kualitas sambungan yang baik, penetrasi yang memadai, serta tingkat cacat pengelasan yang relatif rendah [12]. Selain itu, proses ini memberikan kontrol yang lebih baik terhadap masukan panas sehingga banyak digunakan pada fabrikasi bejana tekan dan komponen yang memerlukan integritas struktur tinggi. Sambungan antara *dome* dan badan silinder menggunakan pengelasan permanen karena lebih sesuai untuk aplikasi penyimpanan gas bertekanan tinggi dibandingkan sambungan berulir. Penggunaan ulir pada sambungan utama bejana tekan dapat menimbulkan konsentrasi tegangan dan mengurangi ketebalan efektif material akibat proses pembentukan ulir. Sebaliknya, sambungan las mampu menghasilkan ikatan metalurgi yang menyatukan kedua komponen menjadi satu kesatuan struktur sehingga distribusi tegangan menjadi lebih merata dan potensi kebocoran dapat diminimalkan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Manufaktur Komponen Tangki

Proses manufaktur tangki gas hidrogen tipe I berhasil dilaksanakan sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Metode *turning* mampu menghasilkan dua buah *elliptical dome* dan *nozzle* dengan geometri yang sesuai terhadap model desain. Selain menghasilkan bentuk yang presisi, proses pembubutan juga memberikan kualitas permukaan yang baik sehingga memudahkan proses perakitan dan penyambungan pada tahap selanjutnya. Hasil manufaktur menunjukkan bahwa profil *elliptical dome* dapat dibentuk dengan baik menggunakan material ST 60. Penggunaan metode *turning* memberikan tingkat presisi yang tinggi dalam menghasilkan geometri komponen sesuai desain, terutama pada bagian yang memiliki kontur melengkung seperti *dome*. Selain itu, proses ini memungkinkan

pengendalian dimensi yang lebih akurat, kualitas permukaan yang baik, serta kemudahan dalam penyesuaian ukuran selama proses manufaktur. *Nozzle* yang diproduksi melalui metode yang sama juga berhasil dibuat sesuai dimensi rancangan dan dapat diintegrasikan dengan baik pada proses perakitan tangki.

Setelah seluruh komponen selesai diproduksi, dilakukan proses *fit-up* untuk memastikan kesesuaian posisi dan dimensi antar komponen sebelum pengelasan. Hasil *fit-up* menunjukkan bahwa dome, badan silinder, dan nozzle dapat dirakit dengan baik tanpa ketidaksesuaian geometri yang signifikan.

3.2 Hasil Pengelasan

Proses pengelasan tangki berhasil dilaksanakan menggunakan metode Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) sesuai *Welding Procedure Specification* (WPS) yang mengacu pada ASME Section IX. Pengelasan dilakukan pada sambungan antara dome dan badan silinder serta sambungan antara *nozzle* dan dome hingga seluruh komponen membentuk satu kesatuan tangki. Selama proses pengelasan tidak ditemukan kendala yang dapat mengganggu jalannya proses penyambungan. Hasil pengelasan menunjukkan terbentuknya *weld bead* yang relatif seragam di sepanjang jalur sambungan. Selain itu, tidak ditemukan cacat visual yang signifikan seperti *undercut*, *overlap*, maupun *incomplete fusion* pada hasil inspeksi visual awal. Kesesuaian hasil pengelasan ini menunjukkan bahwa proses *fit-up* dan parameter pengelasan yang digunakan mampu menghasilkan sambungan yang. Perbandingan parameter pengelasan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Parameter WPS ASME section IX dengan Aktual

Parameter	ASME Section IX	Aktual
Proses Las	GTAW	GTAW
Elektroda/Filler	ER70S-2 (2,4 mm)	ER70S-2 (2,4 mm)
Arus	130-140 A	133 A
Tegangan	10-14 V	14 V
Kecepatan Las	90-130 mm/menit	90 mm/menit
Gas Pelindung	Argon 99,99%	Argon 99,99%
Flow Argon	Flow 12-15 L/min	14 L/min
Preheat Temperature	50°C	50,2°C
Posisi	1G/5G	1G Rotated
Jenis Sambungan	Single V Groove	Single V Groove
Root Gap	2-3 mm	3 mm
Groove Angle	60-70°	60°

3.3 Produk Akhir Tangki Gas Hidrogen Tipe I

Hasil akhir penelitian menunjukkan bahwa tangki gas hidrogen tipe I berhasil diproduksi sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Pemilihan pipa ASTM A106 Grade A Schedule 160 sebagai badan silinder serta baja ST 60 sebagai material dome dan *nozzle* terbukti mendukung proses manufaktur dan perakitan tangki. Kombinasi kedua material tersebut memberikan kemudahan dalam proses permesinan maupun penyambungan, sehingga seluruh komponen dapat terintegrasi dengan baik menjadi satu kesatuan struktur.

Metode *turning* yang digunakan pada pembuatan dome dan *nozzle* mampu menghasilkan geometri yang sesuai dengan desain serta mempermudah proses *fit-up* sebelum pengelasan. Selain itu, penggunaan metode GTAW sebagai proses penyambungan utama menghasilkan sambungan yang baik dan sesuai untuk aplikasi bejana tekan. Karakteristik GTAW yang mampu memberikan kontrol panas yang baik serta kualitas sambungan yang tinggi menjadikan metode ini sesuai untuk penyambungan material ASTM A106 Grade A dan ST 60.

Berdasarkan hasil manufaktur dan perakitan yang telah dilakukan, kombinasi material, metode *turning*, dan proses pengelasan GTAW dapat diterapkan secara efektif dalam pembuatan tangki gas hidrogen tipe I. Produk akhir yang dihasilkan memiliki geometri yang sesuai dengan rancangan dan siap digunakan sebagai tangki penyimpanan gas bertekanan tinggi. Hasil akhir tangki gas hidrogen tipe I ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 3. Hasil Manufaktur Tangki Hidrogen Tipe I

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Material ASTM A106 Grade A Schedule 160 berhasil diterapkan sebagai badan silinder tangki gas hidrogen tipe I karena memiliki kombinasi sifat mekanik, kemampuan fabrikasi, dan kemampuan las yang baik. Ketebalan dinding Schedule 160 memberikan kemampuan yang lebih baik dalam menahan beban akibat tekanan internal dibandingkan pipa dengan ketebalan yang lebih rendah. Selain itu, penggunaan baja ST 60 pada komponen *dome* dan *nozzle* menunjukkan kompatibilitas yang baik dengan ASTM A106 Grade A sehingga mendukung proses manufaktur dan penyambungan tangki.
2. Metode *turning* terbukti efektif untuk memproduksi *elliptical dome* dan *nozzle* sesuai dengan geometri rancangan. Proses ini mampu menghasilkan ketelitian dimensi yang baik, kualitas permukaan yang memadai, serta fleksibilitas yang tinggi dalam pembuatan prototipe. Hasil manufaktur menunjukkan bahwa komponen yang dihasilkan dapat dirakit dengan baik melalui proses *fit-up* tanpa ketidaksesuaian geometri yang signifikan, sehingga mendukung kelancaran proses penyambungan pada tahap selanjutnya.
3. Metode *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) yang mengacu pada ASME Section IX berhasil digunakan untuk menyambungkan badan silinder, *dome*, dan *nozzle* menjadi satu kesatuan struktur tangki. Karakteristik GTAW yang mampu menghasilkan kualitas sambungan yang baik dan kontrol panas yang stabil menjadikannya sesuai untuk fabrikasi tangki gas hidrogen tipe I. Secara keseluruhan, kombinasi material ASTM A106 Grade A Schedule 160, baja ST 60, metode *turning*, dan proses pengelasan GTAW terbukti dapat diterapkan secara efektif dalam manufaktur tangki gas hidrogen tipe I sesuai desain yang direncanakan.

5. Daftar Pustaka

- [1] Moradi R, Groth KM. Hydrogen storage and delivery: Review of the state of the art technologies and risk and reliability analysis. *Int J Hydrogen Energy* 2019;44:12254–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.041>.
- [2] Liu J, Zheng S, Zhang Z, Zheng J, Zhao Y. Numerical study on the fast filling of on-bus gaseous hydrogen storage cylinder. *Int J Hydrogen Energy* 2020;45:9241–51. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.033>.
- [3] Abbas Hamdani Syed Z, Che J le, Chang SH. Design of a Type-III hydrogen pressure vessel with an elliptical dome for stress reduction in the composite layer. *Int J Hydrogen Energy* 2025;103:937–50. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.01.215>.
- [4] Wang H, Zheng T, Sang Z, Krakauer BW. Burst pressures of thin-walled cylinders constructed of steel exhibiting a yield plateau. *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 2021;193:104483. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104483>.
- [5] Martiniano GA, Silveira Leal JE, Rosa GS, Bose Filho WW, Piza Paes MT, Franco SD. Effect of specific microstructures on hydrogen embrittlement susceptibility of a modified AISI 4130 steel. *Int J Hydrogen Energy* 2021;46:36539–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.08.147>.
- [6] Zhu Z, Zhang G, Wang K, Shi Y, Zhu M. Joint Penetration Monitoring in Low-Frequency Pulsed GTA Root Pass Welding of Medium-Thick Steel Plates. *Weld J* 2021;100:281–90. <https://doi.org/10.29391/2021.100.025>.
- [7] ASTM International. ASTM A106/A106M-10: Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service 2010.
- [8] Yulianto S. Perancangan Tangki Penyimpanan Udara Berbentuk Silinder Elipsoidal dengan Volume 8 M3 dan Tekanan Maksimum 15 kg/cm². vol. 17. 2021.

-
- [9] Wang Z, Zhang Z, Chen J, Bai J. Stress analysis and applicability analysis of the elliptical head. *Sci Rep* 2021;11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02397-7>.
 - [10] Abdelgawad K, Nassef A, Eraky MT, Saber M. Mechanical Behavior of Seamless Pipes Using Ring Expansion Technique and Novel Hoop Stress Correlation Factor (K). *Exp Tech* 2024;48:611–22. <https://doi.org/10.1007/s40799-023-00683-9>.
 - [11] Afif Abdullathif, Ayende. Analisis Implementasi WPS & PQR pada Pengelasan Material A333 dan X65 PT X. *SNTEM* 2025;5:1575–84.
 - [12] Hassan Malik Q. Gas tungsten Arc Welding (GTAW) or (TIG) Welding. 2021.