

DESAIN *WELDING FIXTURE TUBULAR CHASSIS* PROTOTIPE MOBIL LISTRIK

*Bayu Setiawan¹, Susilo Adi Widyanto², Mochammad Ariyanto²

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: bayusetiawanjeparal@gmail.com

Abstrak

Pertumbuhan industri kendaraan listrik yang pesat turut mendorong kebutuhan produksi kendaraan khusus, salah satunya prototipe mobil listrik penarik anhang hidrogen. Proses pengelasan *chassis tubular* kendaraan ini yang masih dilakukan secara manual berisiko menimbulkan distorsi dan ketidakakuratan dimensi. Penelitian ini bertujuan merancang *welding fixture* untuk *tubular chassis* prototipe mobil listrik menggunakan *software* CAD SolidWorks 2023 guna mendukung proses produksi yang presisi, konsisten, dan efisien. Perancangan diawali dengan pengumpulan data spesifikasi *chassis*, identifikasi kebutuhan *welding fixture*, penentuan parameter desain, pembuatan konsep desain, pemodelan 3D, *assembly*, hingga pembuatan gambar teknik. Hasil penelitian berupa tiga unit *welding fixture*, yaitu *welding fixture chassis* kanan, *welding fixture chassis* kiri, dan *welding fixture chassis full*, yang masing-masing terdiri dari *main frame*, *locator*, dan *clamping device* (*toggle clamp*, *split ring clamp*, dan *thick half clamp*). Evaluasi desain menunjukkan seluruh *locator* mampu memposisikan *chassis* sesuai gambar teknik tanpa ketidaksesuaian dimensi yang signifikan, penerapan prinsip 3-2-1 berhasil mengunci 6 derajat kebebasan (6 DoF) *chassis* secara penuh, seluruh titik pengelasan dapat diakses elektroda las, dan komponen *chassis* dapat dipasang-lepas oleh satu *welder* dengan mudah. Gambar teknik yang dihasilkan sebanyak 35 lembar dapat digunakan sebagai acuan proses manufaktur *welding fixture* di lini produksi.

Kata kunci: gambar teknik; mobil listrik; solidworks; *tubular chassis*; *welding fixture*

Abstract

The rapid growth of the electric vehicle industry has driven the demand for specialized vehicle production, including the development of an electric vehicle prototype designed to tow a hydrogen trailer. The manual welding process currently used for the vehicle's tubular chassis poses risks of distortion and dimensional inaccuracy. This study aims to design a welding fixture for the electric vehicle prototype's tubular chassis using SolidWorks 2023 CAD software to facilitate a precise, consistent, and efficient production process. The design process encompassed data collection on chassis specifications, identification of fixture requirements, determination of design parameters, conceptual design, 3D modeling, assembly, and the creation of technical drawings. The study resulted in three welding fixture units-for the right chassis section, the left chassis section, and the full chassis – each comprising a main frame, locators, and clamping devices (toggle clamps, split ring clamps, and thick half-clamps). Design evaluations demonstrated that all locators successfully positioned the chassis according to the technical drawings without significant dimensional discrepancies; the application of the 3-2-1 principle effectively constrained all six degrees of freedom (6 DoF); all welding points were accessible to the welding electrode; and chassis components could be easily assembled and disassembled by a single welder. The 35 technical drawings produced can serve as a reference for the manufacturing process of the welding fixture on the production line.

Keywords: electric vehicle; engineering drawing; solidworks; *tubular chassis*; *welding fixture*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan industri kendaraan listrik di Indonesia berlangsung pesat, dengan penjualan yang terus meningkat sejak tahun 2022 dan mencapai hampir 50.000 unit pada tahun 2024 yang mayoritas didominasi oleh jenis *battery electric vehicle* (BEV) [1]. Salah satu kebutuhan yang berkembang seiring hal tersebut adalah prototipe mobil listrik yang difungsikan sebagai kendaraan penarik *anhang* hidrogen di lingkungan industri. Penggunaan kendaraan listrik sebagai penarik *anhang* hidrogen dinilai lebih aman dan ramah lingkungan dibandingkan kendaraan konvensional berbahan bakar fosil, karena tidak menimbulkan percikan api dari sistem pembakaran yang berpotensi membahayakan muatan hidrogen yang bersifat mudah terbakar [2], sekaligus menghasilkan emisi yang jauh lebih rendah sehingga menjadi solusi

transportasi yang aman dan berkelanjutan di lingkungan industri yang sensitif terhadap potensi bahaya kebakaran [3].

Chassis merupakan komponen struktural utama pada prototipe mobil listrik yang berfungsi sebagai kerangka penopang seluruh sistem kendaraan. Karena kendaraan ini diproduksi secara khusus untuk kebutuhan perusahaan tertentu, dibutuhkan kapasitas produksi *chassis* yang lebih tinggi dengan standar kualitas yang konsisten dan terstandarisasi [4]. Proses pengelasan *chassis* yang dilakukan secara manual tanpa alat bantu yang terstandarisasi sangat rentan menghasilkan cacat produksi berupa distorsi dan ketidakakuratan dimensi [5], mengingat peningkatan jumlah lapisan las, peningkatan arus listrik las, serta berkurangnya kecepatan pengelasan terbukti berpengaruh signifikan terhadap besarnya distorsi yang terjadi [6]. Perancangan *welding fixture* merupakan solusi yang diperlukan untuk mencegah distorsi tersebut, dan telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi secara signifikan [5].

Dalam proses perancangan *welding fixture*, pembuatan model 3D dengan bantuan *software* CAD menjadi hal yang sangat penting, karena mampu menghasilkan model yang presisi serta gambar teknik yang detail dan sesuai standar sebagai acuan dalam proses manufaktur [7]. Dengan pemodelan 3D, kesalahan desain seperti *interference* antar komponen atau ketidaksesuaian dimensi dapat diidentifikasi dan diperbaiki sejak tahap awal, sebelum *welding fixture* diproduksi secara fisik. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada desain *welding fixture tubular chassis* prototipe mobil listrik penarik *anhang* hidrogen dengan menggunakan bantuan *software* SolidWorks untuk permodelan 3D guna mendukung peningkatan jumlah produksi *chassis* secara efisien dan konsisten. Hasil desain berupa model 3D dan gambar teknik dapat langsung dijadikan acuan dalam proses manufaktur *welding fixture* di lingkungan produksi.

2. Metode Penelitian

2.1 Data Spesifikasi *Chassis* Prototipe Mobil Listrik

Data spesifikasi *chassis* prototipe mobil listrik penarik *anhang* hidrogen diperoleh dari gambar teknik yang telah tersedia dari produksi kendaraan sebelumnya. Data tersebut menjadi acuan utama dalam menentukan dimensi, posisi *locator*, *stopper*, dan *clamping device* agar sesuai secara tepat dengan geometri *chassis*. Spesifikasi *chassis* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Chassis* Prototipe Mobil Listrik

No	Parameter	Keterangan
1	Tipe <i>Chassis</i>	<i>Tubular Chassis</i>
2	Material Pipa	ASTM A36
3	Panjang Total <i>Chassis</i>	2256 mm
4	Lebar <i>Chassis</i>	1150 mm
5	Tinggi <i>Chassis</i>	1500 mm
6	Diameter Pipa	50 mm
7	Ketebalan Pipa	2,5 mm
8	Jenis Sambungan Las	<i>T-joint</i> , <i>Butt Joint</i> , dan <i>Corner Joint</i>
9	Proses Pengelasan	SMAW atau GMAW
10	Fungsi Kendaraan	Menarik <i>Anhang</i> Hidrogen

2.2 Identifikasi Kebutuhan dan Parameter Perancangan *Welding Fixture*

Sebelum perancangan dilakukan, kebutuhan *welding fixture* diidentifikasi secara menyeluruh berdasarkan analisis gambar teknik dan pengamatan langsung terhadap *chassis*, meliputi penentuan titik-titik referensi (*locating points*), identifikasi titik-titik pengelasan yang harus terjangkau *welder*, penentuan arah dan gaya *clamping*, analisis kemudahan perakitan/pembongkaran, serta penentuan dimensi *main frame welding fixture*. Hasil identifikasi tersebut dirumuskan menjadi beberapa parameter perancangan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Perancangan *Welding Fixture*

No	Parameter Perancangan	Kriteria / Ketentuan
1	Akurasi dimensi <i>welding fixture</i>	Dimensi mengacu pada gambar teknik <i>chassis</i>
2	Kekakuan <i>main frame</i>	Mampu menopang seluruh komponen <i>chassis</i> tanpa deformasi berarti
3	Jumlah titik penopang	Berdasarkan geometri dan berat komponen <i>chassis</i>
4	Jenis <i>clamp</i> penahan	<i>Toggle clamp</i> , <i>thick half clamp</i> dan <i>split ring clamp</i> yang mudah dioperasikan satu <i>welder</i>

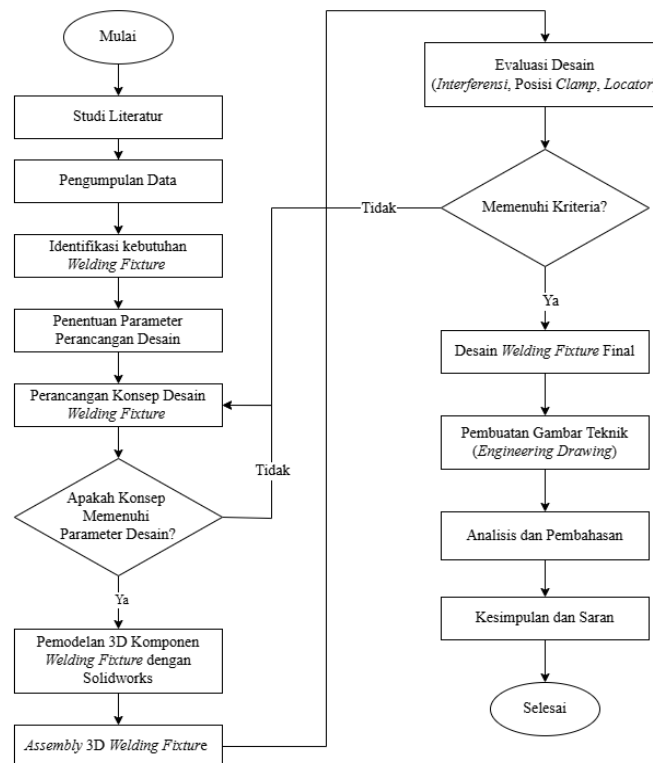
No	Parameter Perancangan	Kriteria / Ketentuan
5	Aksesibilitas pengelasan	Seluruh titik las dapat dijangkau elektroda las
6	Kemudahan pemasangan	Tanpa alat bantu tambahan yang rumit
7	Jenis sambungan <i>welding fixture</i>	Las atau baut untuk kemudahan perawatan/modifikasi

2.3 Tahapan Perancangan Desain

Karakteristik *tubular chassis* pada prototipe mobil listrik sangat ditentukan oleh tingkat kekakuan struktur, baik terhadap torsi maupun *bending*, karena *chassis* harus mampu menahan distorsi bentuk saat menerima beban dinamis dari berbagai arah selama proses pengelasan [8]. Penempatan segmen pipa pada titik – titik strategis, seperti penambahan *elbow* serta penyesuaian dimensi dan sudut pipa, terbukti meningkatkan kekakuan struktur dan mengoptimalkan distribusi beban ke seluruh bagian *chassis* [9],[10]. Selain faktor geometri, pemilihan material turut berperan besar. Pipa baja ASTM A36 dipilih karena memiliki kekuatan luluh (*yield strength*) yang lebih tinggi, ketersediaan di pasaran yang baik, serta kemudahan proses pengelasan (*weldability*) dibandingkan baja konvensional SAE-AISI 1018 [11]. Karakteristik posisi dan *leveling* komponen pada *chassis* juga menjadi pertimbangan penting agar seluruh komponen yang menempel berada pada posisi yang presisi sesuai *layout* yang direncanakan, sehingga pengujian kekakuan memerlukan kondisi pengikatan (*constraint*) yang tepat agar hasil pengukuran dapat divalidasi secara akurat [12].

Perancangan diawali dengan studi literatur mengenai *welding fixture*, proses dan distorsi pengelasan, konstruksi *chassis* kendaraan listrik, standar gambar teknik ISO, serta penggunaan *software* SolidWorks untuk pemodelan 3D, dilanjutkan dengan pengumpulan data spesifikasi *chassis*. Konsep desain *welding fixture* kemudian disusun dalam tiga bagian, yaitu *welding fixture chassis* kanan, *welding fixture chassis* kiri, dan *welding fixture chassis full*, dengan mempertimbangkan jenisudukan (*locator*) berupa *support locator*, *U-shaped locator*, dan *pin locator*, serta jenis *clamp* berupa *split ring clamp*, *toggle clamp*, dan *thick half clamp*. *Toggle clamp* dipilih karena kemudahan pengoperasian satu tangan dan kemampuan *self-locking* yang menjaga posisi komponen selama pengelasan [13], sedangkan *split ring clamp* dipilih karena bentuknya yang melingkar memungkinkan penjepitan pipa secara merata tanpa mudah bergeser, sekaligus memudahkan pemasangan dan pelepasan tanpa perlu melewati pipa dari ujungnya [13],[14].

Tahap selanjutnya adalah pemodelan 3D setiap komponen (*part modeling*) dan penyusunan seluruh komponen ke dalam satu model *assembly* menggunakan *software* SolidWorks 2023, dilanjutkan dengan pembuatan gambar teknik (*engineering drawing*) yang menampilkan tampak atas, tampak depan, tampak samping, tampak isometri, serta detail dimensi setiap komponen. Tahap akhir adalah evaluasi desain yang meliputi pemeriksaan interferensi antar komponen, kesesuaian posisi *clamp* dan *locator*, serta kesesuaian dimensi keseluruhan terhadap gambar teknik *chassis*. Seluruh tahapan penelitian dirangkum dalam diagram alir pada Gambar 1.

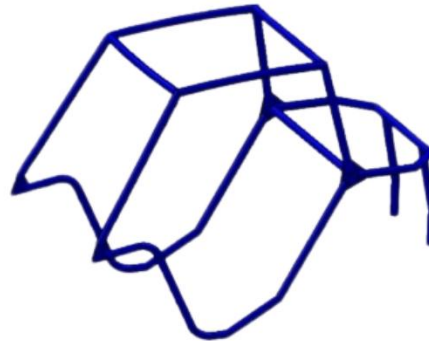


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

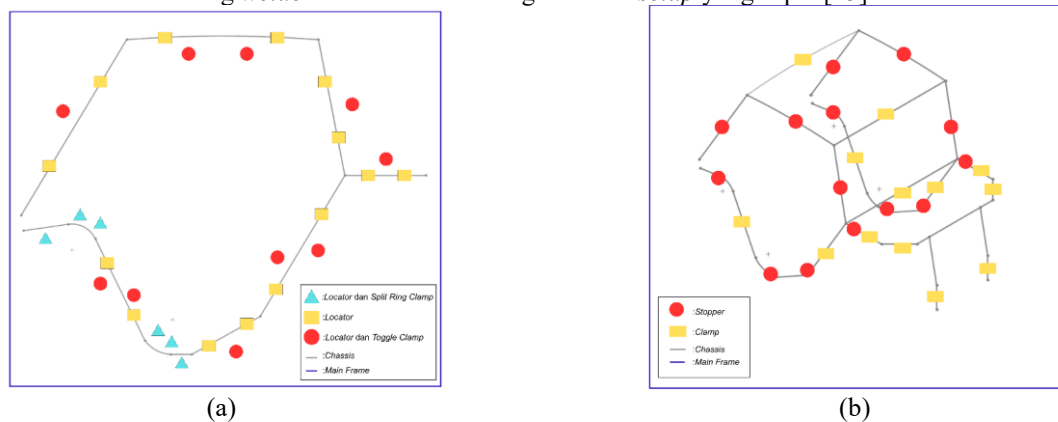
3.1 Konsep Desain *Welding Fixture*

Model 3D *chassis* prototipe mobil listrik digunakan sebagai referensi geometri dalam perancangan *welding fixture*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model 3D *Chassis* Prototipe Mobil Listrik

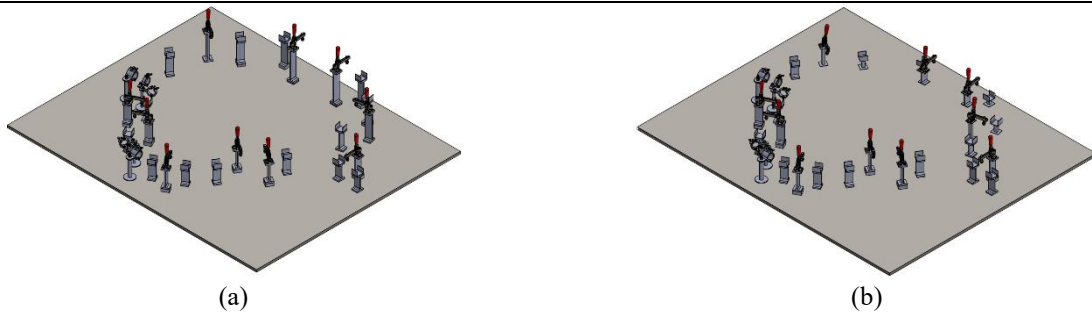
Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan, konsep desain *welding fixture* dikembangkan menjadi tiga bagian dengan prinsip dasar yang sama, yaitu *main frame* sebagai fondasi penopang yang kaku, *locator* untuk memposisikan komponen pipa *chassis* secara akurat dan berulang, serta *clamping device* untuk menahan posisi setiap komponen pipa agar tidak bergeser selama pengelasan berlangsung [13]. *Welding fixture chassis* kanan dan kiri digunakan terlebih dahulu untuk mengelas sub-rakitan masing-masing sisi secara terpisah, sebagaimana ditunjukkan konsep desain *welding fixture chassis* kanan dan kiri pada Gambar 3a, sementara *welding fixture chassis full* digunakan untuk menyatukan kedua sub-rakitan beserta komponen melintang menjadi satu rangka *chassis* yang utuh, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3b [15]. Seluruh material komponen *welding fixture* dipilih dari baja profil standar yang mudah diperoleh di pasaran dan mudah dikerjakan menggunakan peralatan bengkel umum, sehingga proses pemasangan dan pelepasan komponen *chassis* dapat dilakukan oleh satu orang *welder* secara mandiri dengan waktu *setup* yang cepat [15].



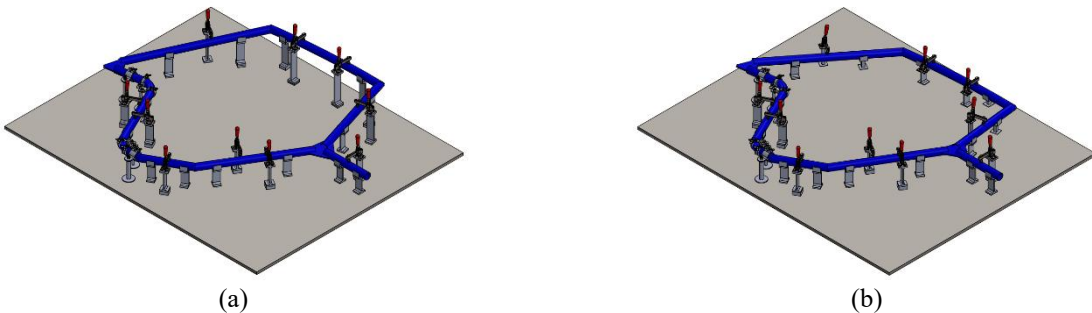
Gambar 3. (a) Konsep Desain *Welding Fixture Chassis* Kanan dan Kiri, (b) Konsep Desain *Welding Fixture Chassis Full*

3.2 Pemodelan 3D dan *Assembly Welding Fixture*

Pemodelan 3D dilakukan terhadap seluruh komponen *welding fixture*, yaitu *main frame*, *locator*, *stopper*, dan *clamp*, menggunakan fitur *part modeling* SolidWorks, kemudian dirakit menjadi satu model *assembly* menggunakan fitur *assembly modeling* dengan hubungan antar komponen (*mate*) berupa *coincident*, *concentric*, *parallel*, *distance*, dan *angle*. *Main frame welding fixture chassis* kanan dan kiri menggunakan plat baja berukuran 2200 × 1800 mm dengan ketebalan 20 mm, sedangkan *locator* menggunakan kombinasi besi UNP, *H-beam*, besi *hollow*, dan pipa *seamless* berdiameter 25 mm sesuai kebutuhan penopangan setiap titik pipa. Hasil *assembly welding fixture chassis* kanan dan *chassis* kiri masing-masing terdiri dari *main frame*, *locator*, dan tiga jenis *clamp*, yaitu satu *toggle clamp* dan dua *split ring clamp* dengan ketebalan 50 mm dan 20 mm, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

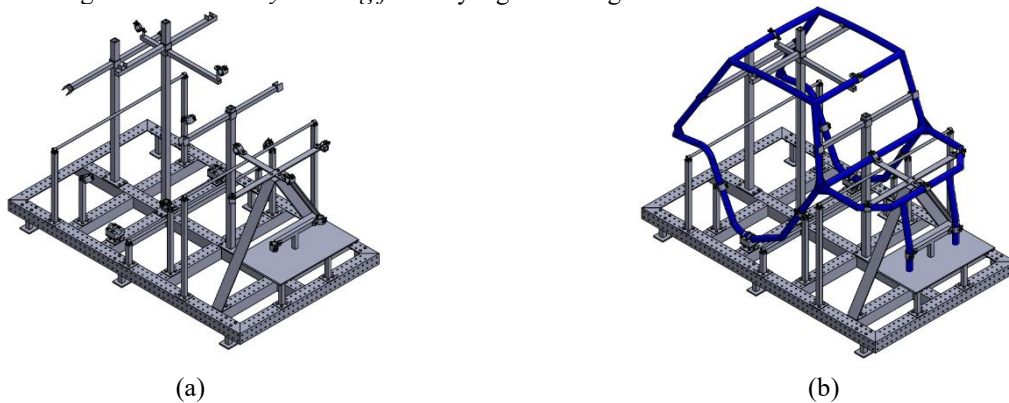


Gambar 4. (a) *Assembly Welding Fixture Chassis Kanan*, (b) *Assembly Welding Fixture Chassis Kiri*



Gambar 5. (a) *Assembly Welding Fixture dan Chassis Kanan*, (b) *Assembly Welding Fixture dan Chassis Kiri*

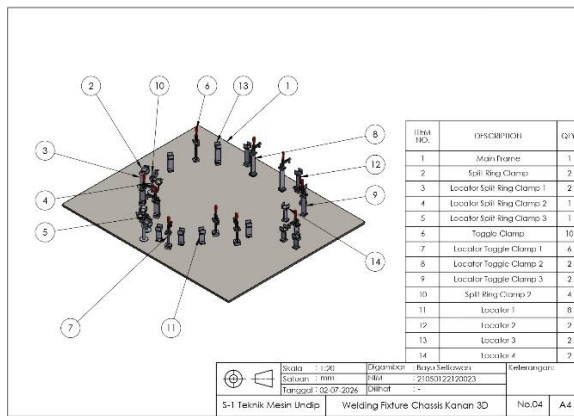
Welding fixture chassis full dirancang dengan dimensi yang lebih besar untuk mengakomodasi seluruh lebar dan panjang *chassis*, dilengkapi *locator* dan *clamping device* tambahan berupa *thick half clamp* pada bagian tengah dan melintang untuk menyatukan sub-rakitan *chassis* kanan dan kiri, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Verifikasi menggunakan fitur *interference detection* pada SolidWorks dapat dilihat bahwa tidak terdapat tabrakan (*clash*) antar komponen pada ketiga model *assembly welding fixture* yang dirancang.



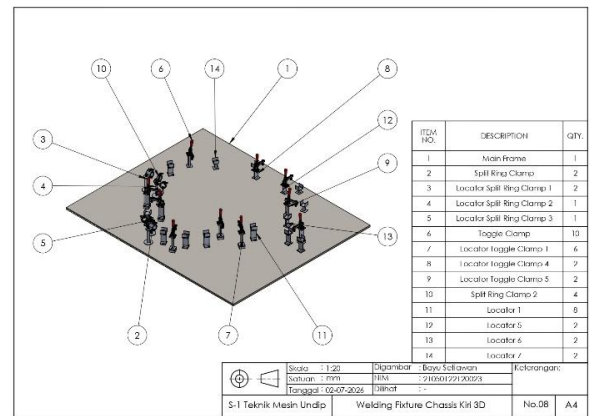
Gambar 6. (a) *Assembly Welding Fixture Chassis full*, (b) *Assembly Welding Fixture dan Chassis full*

3.3 Gambar Teknik (*Engineering Drawing*)

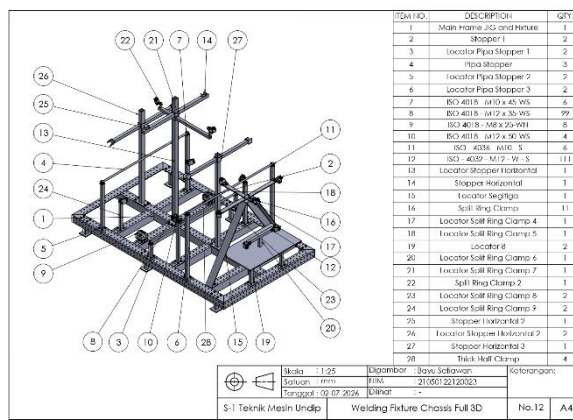
Gambar teknik *welding fixture* dibuat menggunakan fitur *drawing* SolidWorks setelah model *assembly* dievaluasi, terdiri atas gambar 3D sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7, serta gambar 2D tampak atas, tampak depan, dan tampak samping dengan dimensi lengkap pada titik-titik *locator* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8. Secara keseluruhan, penelitian ini menghasilkan 35 lembar gambar teknik, mencakup tampak atas, tampak depan, tampak samping, tampak isometri, dan detail dimensi setiap komponen *welding fixture*, yang dapat langsung digunakan sebagai acuan proses manufaktur *welding fixture* di bengkel produksi.



(a)

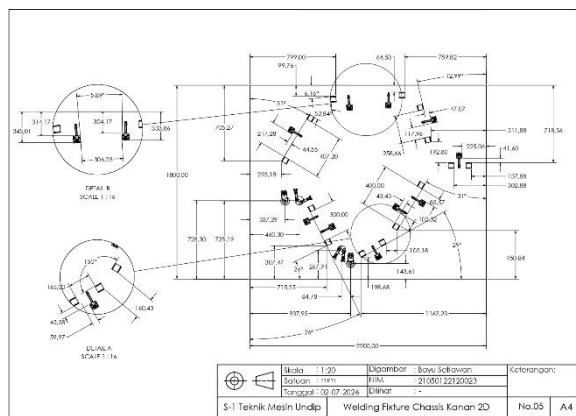


(b)

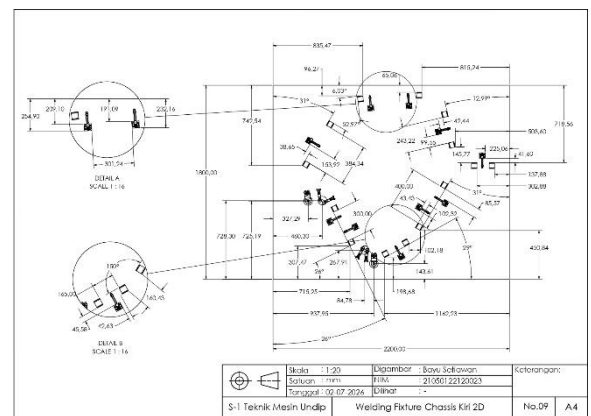


(c)

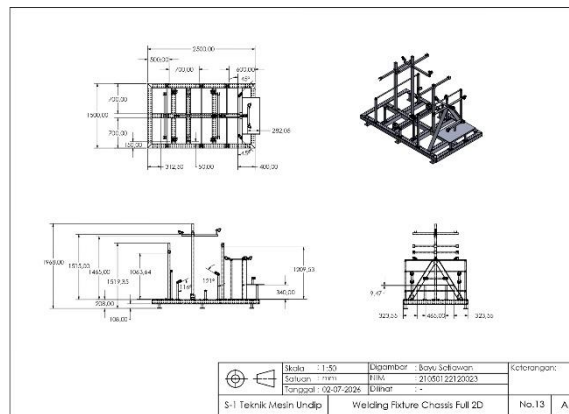
Gambar 7. (a) Gambar Teknik 3D *Welding Fixture Chassis Kanan* ,(b) Gambar Teknik 3D *Welding Fixture Chassis Kiri*, (c) Gambar Teknik 3D *Welding Fixture Chassis Full*



(a)



(b)



(c)

Gambar 8. (a) Gambar Teknik 2D *Welding Fixture Chassis Kanan* ,(b) Gambar Teknik 2D *Welding Fixture Chassis Kiri*, (c) Gambar Teknik 2D *Welding Fixture Chassis Full*

3.4 Evaluasi Desain

Evaluasi kesesuaian dimensi dilakukan dengan memasukkan model *chassis* dari gambar teknik sebagai komponen referensi ke dalam setiap *assembly welding fixture*. Hasil evaluasi menunjukkan seluruh *locator* pada ketiga *welding fixture* mampu memposisikan komponen *chassis* pada koordinat yang tepat sesuai dimensi gambar teknik tanpa ditemukan ketidaksesuaian yang signifikan, sejalan dengan pernyataan bahwa sistem *fixture* berpengaruh besar terhadap kualitas hasil manufaktur komponen *tubular* [16] dan bahwa konsistensi ukuran komponen hanya dapat dicapai apabila *welding fixture* diverifikasi berdasarkan dimensi aktual komponen yang diproduksi [15].

Evaluasi penerapan prinsip dasar *fixture design 3-2-1* menunjukkan bahwa kombinasi *support locator* (mengunci translasi sumbu Z serta rotasi terhadap sumbu X dan Y), *U-shaped locator* dan *locator split ring clamp* (mengunci translasi sumbu Y dan rotasi terhadap sumbu Z), serta *pin locator* dan *locator toggle clamp* (mengunci translasi sumbu X) berhasil mengunci posisi *chassis* secara *fully constrained* atau 0 derajat kebebasan tersisa pada ketiga *welding fixture*, sehingga *clamping device* yang digunakan berfungsi murni sebagai pemberi gaya cekam tanpa menimbulkan kondisi *overconstrained*. Toleransi umum ISO 2768-mK sebesar $\pm 0,2$ mm hingga $\pm 0,3$ mm diterapkan pada komponen *locator* dan *main frame*, dengan toleransi posisi lubang dudukan *locator* sebesar $\pm 0,1$ mm.

Evaluasi aksesibilitas pengelasan menunjukkan bahwa seluruh titik sambungan las dapat dijangkau oleh elektroda las saat *chassis* terpasang pada *welding fixture*, karena posisi dan tinggi *main frame* serta penempatan *locator* dan *clamping device* dirancang agar tidak menghalangi jalur pengelasan. Evaluasi kemudahan operasional menunjukkan bahwa penggunaan *toggle clamp* sebagai *clamping device* utama memungkinkan *welder* memasang dan melepas penjepit dengan satu gerakan tangan, sejalan dengan temuan bahwa implementasi *jig welding* yang mempertimbangkan kemudahan operasional mampu meningkatkan kecepatan proses pengelasan hingga 80% [5].

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah merancang desain *welding fixture tubular chassis* prototipe mobil listrik penarik *anhang* hidrogen dengan menggunakan *software CAD SolidWorks 2023* untuk pembuatan model 3D dan gambar teknik. Berikut kesimpulan dari penelitian ini:

1. *Welding fixture* dirancang dalam tiga unit, yaitu *welding fixture chassis kanan*, *welding fixture chassis kiri*, dan *welding fixture chassis full*, masing-masing terdiri dari *main frame*, *locator*, dan *clamping device* yang ditempatkan pada posisi strategis berdasarkan analisis gambar teknik *chassis*, sehingga mampu memposisikan dan menahan seluruh komponen pipa *tubular* berdiameter 50 mm pada posisi yang tepat, stabil, dan konsisten selama proses pengelasan.
2. Model 3D dan gambar teknik *welding fixture* berhasil dihasilkan menggunakan *SolidWorks 2023*, mencakup seluruh komponen *welding fixture* dalam tiga model *assembly* utuh dan 35 lembar gambar teknik dengan tampak atas, tampak depan, tampak samping, tampak isometri, dan detail dimensi yang dapat langsung digunakan sebagai acuan proses manufaktur.
3. Desain *welding fixture* yang dirancang mendukung proses produksi *chassis* secara berulang dengan kualitas dimensi yang seragam, dibuktikan melalui evaluasi kesesuaian dimensi, penerapan prinsip 3-2-1/6 DoF, aksesibilitas pengelasan, dan kemudahan operasional yang seluruhnya terpenuhi, sehingga desain siap mendukung peningkatan volume produksi *tubular chassis* prototipe mobil listrik secara signifikan

5. Daftar Pustaka

- [1] M. L. Souma, I. P. Hakim, R. N. Rizki, N. L. Fitriani, and Mushawir, "Dampak Electric Vehicle Terhadap Lingkungan dan Ekonomi Berkelanjutan," *Jurnal Ekonomi Bisnis dan Kewirausahaan*, vol. 2, no. 4, pp. 12–18, Jun. 2025, doi: 10.69714/03cm9274.
- [2] R. Fernanda, M. P. Dharma, N. R. Faiq, and I. K. Rafi, "Kajian Penerapan Sistem Fuel Cell Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Pada Kendaraan Bermotor Study on Application of Fuel Cell System as Alternative Energy Source Environmentally Friendly Motor Vehicles," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 2022, doi: 10.23887/jptm.v10i2.45831.
- [3] R. O. Masayu, A. Qurrotul, and A. ' Yun, "Menuju Energi Berkelanjutan: Dinamika Penerapan Kendaraan Listrik di Indonesia," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 10, no. 14, pp. 835–846, 2024, doi: 10.5281/zenodo.13748937.
- [4] N. R. Siswanda, "JIG & FIXTURE DESIGN FOR ROUGHNESS TESTER SJ-210," 2019.
- [5] S. P. Purbaningrum, J. Johannes, F. Imansuri, D. Salati, and E. S. Solih, "Implementasi Jig Welding Untuk Meningkatkan Efisiensi Pengelasan Frame Base," *Journal of Community Services in Sustainability*, vol. 2, no. 1, pp. 55–64, May 2023, doi: 10.52330/jocss.v2i1.277.
- [6] Sambas and S. Widiyanto, "Perancangan Jig Welding Pada Proses Pengelasan Pipe Diffuser Untuk Mengurangi Perubahan Bentuk Pada Pengelasan," *Jurnal Sains dan Teknologi*, 2025.
- [7] D. Kharisma, S. Riyadi, and L. Budinurani, "Rancang Bangun Chasis Electric Buggy Car Berbasis Solidworks 2016," 2025.
- [8] E. Saefudin, N. D. Anggraeni, M. Marsono, and S. Azhari, "Static Analysis of Tubular Space Frame Chassis of an Electric Racing Car Made of ASTM A106 Grade B," *METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal*, vol. 7, no. 1, pp. 15–22, May 2023, doi: 10.25077/metal.7.1.15-22.2023.
- [9] R. Alnursyah, H. Hazimi, H. Nursya, and N. Muhyat, "Simulation Study On A Torsional Stiffness Test Apparatus For Space Tube Frame Chassis," 2020.
- [10] B. A. Gala, D. Munani, K. P. Mandaliya, T. Talekar, H. Vasudevan, and V. H. Khatawate, "Numerical Investigation of Chassis Torsional Stiffness for Formula Student Vehicles," *Journal of Mines, Metals and Fuels*, pp. 1651–1662, Jun. 2025, doi: 10.18311/jmmf/2025/48770.
- [11] P. M. Pamungkas, M. Adhitya, and D. A. Sumarsono, "Engineering and Technology (A High Impact Factor)," *International Journal of Innovative Research in Science*, vol. 6, 2017, doi: 10.15680/IJRSET.2017.0610193.
- [12] A. Eakambaram, B. P. Sethupathi, M. A. Saibalaji, and A. Baskar, "Experimental analysis and Validation of torsional stiffness of a Tubular space frame chassis," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 7719–7727. doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.238.
- [13] T. Manggala, W. I. Nugroho, and A. Khoryanton, "Rancang Bangun Welding Fixture pada Proses Pengelasan Produk Inner Joint untuk Mengurangi Produk NG (Not Good) dan Menurunkan Waktu Proses Produksi di PT Yogya Presisi Tehnikatama Industri," *Journal of Mechanical Engineering and Applied Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 71–76, 2023.
- [14] A. A. Alamtra, M. Al -Masta, and R. Arnanda, "Perancangan JIG dan FIXTURE untuk Rangka Prototipe Sepeda Motor Listrik," 2023. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [15] I. Setiawan *et al.*, "Penerapan Jig & Fixture pada Produksi Massal di Industri Manufaktur," *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, vol. 7, no. 2, p. 104, Sep. 2023, doi: 10.35194/jmtsi.v7i2.3165.
- [16] F. N. Pebriana, A. N. Hartini, T. R. M. Tanjung, and A. R. Shalihah, "Perancangan dan Analisis Jig Pengelasan Setang BMX untuk Meningkatkan Presisi dan Efisiensi Produksi," *Journal of Automotive Engineering Technology*, vol. 1, no. <https://jurnal.stmi.ac.id/index.php/jaet/issue/view/33>, pp. 13–20, May 2025, doi: <https://doi.org/10.52330/jaet.v1i1.619>.